

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к увеличению потока текучих сред, проходящего в подземные скважины или из подземных скважин. Более точно, оно относится к интенсификации притока текучих сред из породы пласта в ствол скважины. Более точно, оно относится к способам регулирования размера и формы, местоположения и качественных характеристик трещин, образуемых при гидравлическом разрыве пласта (или обычно, или с использованием труб в бухтах), при разрыве пласта с последующим заполнением гравием (гравийной набивкой) или при гидравлическом разрыве пласта и заполнении гравием, выполняемыми за одну операцию.

Предпосылки создания изобретения

Гидравлический разрыв пласта, заполнение гравием или гидравлический разрыв пласта и заполнение гравием, выполняемые за одну операцию, широко используются для интенсификации добычи углеводородов, воды и других текучих сред из подземных пластов. Эти операции включают нагнетание суспензии расклинивающего агента при гидравлическом разрыве пласта (натуральных или синтетических материалов, которые расклинивают трещину после ее образования) или "гравия" при заполнении гравием. В случае пластов с высокой проницаемостью целью операций по гидроразрыву пласта, как правило, состоит в создании короткой, широкой трещины с высокой интенсивностью притока текучих сред, чтобы обойти место закупорки пор призабойной зоны, возникшее при бурении и/или заканчивании, для обеспечения хорошего сообщения между породой и стволом скважины и для увеличения площади поверхности, на которой может осуществляться приток текучих сред в ствол скважины. Гравий также представляет собой природный или синтетический материал, который может быть идентичен расклинивающему агенту или отличаться от него. Заполнение гравием используется для борьбы с поступлением "песка" в скважину. Песок - это название, которое дано любому материалу в виде макрочастиц, такому как глины, из пласта, который может быть занесен в эксплуатационное оборудование. Заполнение гравием представляет собой способ предупреждения поступления песка в скважину, используемый для предотвращения выноса песка из пласта, при котором стальной фильтр (перфорированную трубу) устанавливают в стволе скважины, и окружающее кольцевое пространство заполняют подготовленным гравием определенного размера, предназначенным для предотвращения прохода песка из пласта, который может вызвать засорение подземного оборудования или оборудования на поверхности и уменьшение потоков. Основная цель заполнения гравием состоит в стабилизации пласта при обеспечении минимального снижения продуктивности скважины.

Иногда заполнение гравием выполняют без фильтра. Пласты с высокой проницаемостью часто плохо укреплены, так что необходима борьба с поступлением песка в скважину. Следовательно, операции при гидравлическом разрыве пласта, при которых желательно получить короткие, широкие трещины, часто объединены в одной непрерывной операции (операции гидравлического разрыва пласта и заполнения) с заполнением гравием. Для простоты в дальнейшем в описании может упоминаться любая из операций гидравлического разрыва пласта, гидравлического разрыва пласта и заполнения гравием за одну операцию, или заполнения гравием, и при этом имеются в виду все эти операции.

Очень нежелательна ситуация, при которой обеспечивается возможность заполнения ствола скважины расклинивающим агентом или гравием до уровня выше продуктивного пласта. Если это происходит, ствол скважины должен быть очищен для обеспечения возможности выполнения различных других скважинных операций, таких как установка инструментов, для обеспечения возможности оптимальной добычи текучих сред. Также очень нежелательно, если операция выпадения расклинивающего материала выполняется слишком поздно или вообще не выполняется, то есть, если трещина продолжает увеличиваться по длине и/или по глубине за те пределы, которые необходимы и желательны, и никогда не будут достигнуты оптимальная набивка и заданные размеры и форма трещины, позволяющие максимально увеличить добычу и предотвратить обратный поток расклинивающего агента или песка.

Как было указано, часто желательно образовать короткие, широкие трещины. Однако они не всегда получаются при обычных операциях по гидравлическому разрыву пласта. Наиболее распространенным способом преднамеренного образования коротких и широких трещин является инициирование выпадения расклинивающего материала в трещине во время операции нагнетания. При выпадении расклинивающего материала в трещине концентрация твердых частиц на конце трещины становится такой высокой вследствие просачивания жидкости в пласт, что суспензия больше не будет обладать подвижностью. Концентрированная суспензия расклинивающего агента закупоривает трещину и предотвращает дальнейший рост трещины. Дополнительное закачивание суспензии расклинивающего агента/жидкости в пласт после выпадения расклинивающего материала вызывает расширение трещины, и в трещине образуются большие концентрации расклинивающего агента на единицу площади поверхности. План выполнения данных операций в значительной мере базируется на точной информации о механических свойствах, проницаемости, пластовом давлении и насыщенности текучими средами пласта, подвергаемого обработке. Перед выполнением большинства из этих операций выполняют операции по небольшому гидравлическому разрыву пласта для определения этих свойств и определения ответной реакции пласта на операции по гидравлическому разрыву пласта. Планы выполнения операций часто изменяют на ходу для того, чтобы учесть эту новую информацию. Важными параметрами при проектировании являются раз-

мер подушки, продолжительность и число стадий, и концентрация расклинивающего агента или гравия на каждой последующей стадии, и тип жидкости и добавок, используемых на каждой стадии. Проектирование и модификацию операций, как правило, выполняют с помощью машинных моделей, многие из которых имеются в данной отрасли.

Подушка представляет собой свободную от расклинивающего агента жидкость разрыва, закачиваемую для инициирования и обеспечения распространения трещины перед началом выполнения операций, предусматривающих использование расклинивающего агента или гравия. Как правило, она также выполняет и другую функцию. Как правило, она приводит к образованию покрытия, называемого "фильтрационной коркой", на поверхностях образующейся трещины. Эта фильтрационная корка приводит к уменьшению потока жидкости из трещины в пласт, отрицательно влияющего на "эффективность" работы (см. ниже). Фильтрационная корка может быть образована из загустителей, которые обычно присутствуют в жидкости разрыва, таких как полимеры. Фильтрационная корка также может быть образована путем добавления дополнительных материалов в жидкость, предназначенную для данной цели, особенно в том случае, если поры на поверхности трещины большие. Такие добавляемые в возможном варианте, но обязательно, материалы в данном случае часто называют реагентами, снижающими фильтрацию (водоотдачу).

При гидравлическом разрыве пластов, в частности, в случае пластов с низкой проницаемостью, когда желательно образовать как можно более длинную трещину (чтобы образовать наибольшую возможную поверхность трещины для притока текучих сред в трещину и в конечном счете в ствол скважины), как правило, избегают режимов работы, которые могли бы вызвать выпадение расклинивающего материала в трещине, чтобы получить длинные трещины с интенсивным притоком текучих сред. Если при выполнении такой операции гидравлического разрыва пласта сталкиваются с выпадением расклинивающего материала в трещине перед выполнением запланированного нагнетания, при этом о выпадении расклинивающего материала свидетельствует увеличение давления на выкиде насоса, скорость нагнетания уменьшают, или, скорее всего, обработку прекращают, и ситуация рассматривается как сбой в работе. Планы работ и операции, осуществляемые при выполнении работ по гидравлическому разрыву пласта, при которых выпадение расклинивающего материала в трещине является нежелательным и не происходит, названы "обычным" гидравлическим разрывом пласта.

С другой стороны, иногда выпадение расклинивающего материала в трещине желательно. К особенностям планов работ, как правило, используемым в тех особых ситуациях, в которых желательно выпадение расклинивающего материала в трещине, как правило, относится применение способов обеспечения того, чтобы просачивание жидкости было большим по отношению к скорости нагнетания расклинивающего агента и количеству нагнетаемого расклинивающего агента. Это может быть достигнуто путем использования небольшой подушки, использования небольшого или нулевого количества реагента, снижающего фильтрацию, использования более высоких концентраций расклинивающего агента раньше в процессе обработки, более медленного нагнетания и других способов, известных специалистам в области гидравлического разрыва пластов и комбинированного гидравлического разрыва пласта и заполнения гравием.

К сожалению, несмотря на информацию, полученную при исходном небольшом гидравлическом разрыве пласта, данные о процессах изменения давления, собранные скважинными манометрами в процессе выполнения операций, указывают на то, что выпадение расклинивающего материала в трещине не происходит во многих случаях, возможно, в большинстве случаев выполнения операций по гидравлическому разрыву пластов, в которых такое выпадение расклинивающего материала желательно и предусмотрено. Жидкость на конце трещины остается подвижной, конец трещины продолжает увеличиваться в размерах в течение всего процесса гидравлического разрыва пласта, и заданная концентрация расклинивающего агента в трещине не достигается. Следовательно, образуется длинная узкая трещина, и не достигается заданная интенсивность притока текучей среды в трещину. Часто приходится обеспечивать выпадение расклинивающего материала в трещине путем снижения скоростей нагнетания или увеличения концентраций расклинивающего агента, когда желательно выпадение расклинивающего материала в трещине.

Существуют две основные причины, по которым не достигается соответствующее выпадение расклинивающего материала в трещине. Во-первых, трещина может быть слишком большой для определенного объема расклинивающего агента. Это происходит в тех случаях, когда подушка является слишком большой или "эффективность" является слишком высокой, или отношение объема расклинивающего агента к объему суспензии, выбранное при планировании работ, является недостаточно высоким. ("Эффективность" при операции гидравлического разрыва пласта является высокой, когда регулируется просачивание жидкости, или естественным образом за счет свойств жидкости разрыва и материнской породы, или путем добавления реагентов, снижающих фильтрацию, до приемлемо низкого уровня; эффективность является низкой, когда просачивание большое, так что возникает необходимость в нагнетании очень больших объемов жидкости для образования трещины с заданными размерами и формой и для размещения определенного количества расклинивающего агента или гравия.) Во-вторых, ширина трещины может быть слишком большой, что не позволяет расклинивающему агенту образовать перемычку

в трещине. Причиной этого может быть неправильный исходный проект (например, с точки зрения выбора диаметра частиц расклинивающего агента) или увеличение ширины за ожидаемые пределы.

До настоящего времени, помимо лучшего планирования работ, основной способ решения этих проблем состоял в оптимизации выбора реагента или реагентов, снижающих фильтрацию, и стадий в процессе выполнения работ, на которых эти реагенты использовались, особенно в том случае, если основной проблемой был слишком большой размер трещины для определенного объема расклинивающего агента.

Волокна используются при гидравлическом разрыве пласта для борьбы с обратным потоком расклинивающего агента. В этом случае волокно добавляют в оптимальной концентрации для борьбы с обратным потоком расклинивающего агента, при этом не оказывается существенного воздействия на интенсивность притока текучих сред в трещину. Например, при использовании стекловолокон эта концентрация составляет приблизительно 1 мас.% от массы расклинивающего агента. Эта концентрация недостаточна для того, чтобы вызвать образование перемычек при нагнетании в тех условиях, при которых она обычно применяется, особенно в пластах с низкой проницаемостью. Волокна также иногда используются для того, чтобы способствовать перемещению расклинивающего агента в том случае, если вязкость жидкости очень низкая. При данных операциях по гидравлическому разрыву пласта обычно намеренно избегают выпадения расклинивающего материала в трещине; концентрации расклинивающего агента поддерживают низкими за счет тщательного предварительного проектирования работ, особенно за счет тщательного выбора режимов нагнетания. Например, при данных операциях по гидравлическому разрыву пласта объем подушки увеличивают по сравнению с обычными планами выполнения работ, чтобы гарантировать то, что будет образована трещина с достаточной шириной перед введением суспензии расклинивающего агента/волокну в трещину.

Существует высокая степень неопределенности того, что будет достигнуто успех при обеспечении выпадения расклинивающего материала в трещине, и эта неопределенность обусловлена тем, что истинные свойства подземного пласта неизвестны и являются переменными. Было бы крайне желательно, если бы существовали способы вызвать выпадение расклинивающего материала в трещине в случае необходимости, которые в большей степени зависели бы оттого, что при выполнении работ может регулироваться оператором (в особенности химический состав используемых жидкостей разрыва и реагентов, снижающих фильтрацию), нежели от неизвестной изменчивости характеристик пласта. Существует потребность в более надежных способах гарантирования того, что будет иметь место заданное выпадение расклинивающего материала в трещине, и обеспечения возможности с большей гибкостью проектировать операции по инициированию выпадения расклинивающего материала в трещине.

Краткое изложение сущности изобретения

В одном варианте осуществления выпадение расклинивающего материала в трещине обеспечивают в случае необходимости путем добавления средств, способствующих образованию перемычек, в суспензию расклинивающего агента.

В другом варианте осуществления средства, способствующие образованию перемычек, представляют собой волокна, которые добавляют в суспензию расклинивающего агента в более высоких концентрациях по сравнению с теми концентрациями, которые обычно используются для предотвращения обратного потока, и волокна добавляют своевременно в процессе обработки для инициирования образования перемычек из расклинивающего агента и обеспечения выпадения расклинивающего материала в трещине во время нагнетания.

Еще один вариант осуществления данного изобретения специально предназначен для обеспечения выпадения расклинивающего материала в трещине за счет использования высоких концентраций средств, способствующих образованию перемычек, своевременно при выполнении операций по интенсификации притока текучих сред.

Еще один вариант осуществления данного изобретения специально предназначен для обеспечения выпадения расклинивающего материала в трещине за счет использования высоких концентраций средств, способствующих образованию перемычек, своевременно при выполнении обработки при объединении операций по интенсификации притока/заполнению гравием, в частности, операций по гидравлическому разрыву пласта/заполнению гравием.

Дополнительный вариант осуществления данного изобретения специально предназначен для обеспечения выпадения расклинивающего материала в трещине за счет использования высоких концентраций средств, способствующих образованию перемычек, своевременно при выполнении обработки при объединении операций по интенсификации притока/заполнению гравием, при которых используются кольцевые фильтры.

Еще один вариант осуществления данного изобретения состоит в использовании соответствующего выбора параметров обработки для обеспечения выпадения расклинивающего материала в трещине, но, помимо этого, в использовании высоких концентраций средств, способствующих образованию перемычек, своевременно при выполнении операций обработки для увеличения вероятности того, что произойдет выпадение расклинивающего материала в трещине.

В других вариантах осуществления предусмотрено использование предшествующих способов, в которых средства, способствующие образованию перемычек, добавляют позднее в процессе обработки.

Еще один вариант осуществления изобретения представляет собой суспензию расклинивающего агента, содержащую достаточное количества средства, способствующего образованию перемычек, для обеспечения выпадения расклинивающего материала из суспензии при введении суспензии в трещину.

Еще один вариант осуществления изобретения представляет собой способ обеспечения выпадения расклинивающего материала во время выполнения операции по интенсификации притока из подземного пласта путем гидравлического разрыва пласта с расклиниванием трещин, путем образования фильтрационной корки и последующего разрушения фильтрационной корки с помощью средства или средств разрушения фильтрационной корки при одновременном нагнетании суспензии расклинивающего агента в трещину. В некоторых вариантах осуществления фильтрационная корка образуется из загустителя для жидкости-носителя в суспензии или из реагента, снижающего фильтрацию, или из обоих этих веществ. В некоторых вариантах осуществления средство разрушения фильтрационной корки может представлять собой окислитель, фермент, кислоту или смеси этих веществ.

Еще один вариант осуществления представляет собой способ обеспечения выпадения расклинивающего материала при выполнении операции по интенсификации притока из подземного пласта, включающей нагнетание суспензии расклинивающего агента в жидкости-носителе под давлением выше давления гидравлического разрыва пласта для создания одной или нескольких трещин, при этом способ включает операции нагнетания жидкости для образования подушки, которая образует фильтрационную корку, нагнетания первой суспензии, содержащей расклинивающий агент в жидкости-носителе, и разрушения фильтрационной корки с помощью средства разрушения фильтрационной корки при одновременном нагнетании второй суспензии, содержащей расклинивающий агент в жидкости-носителе. В других вариантах осуществления данного способа жидкость для образования подушки включает одно или несколько следующих веществ: реагентов, снижающих фильтрацию, средств разрушения фильтрационной корки, добавок к средствам разрушения фильтрационной корки и смесей данных веществ, при условии, что не включена никакая добавка к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенная для средства разрушения фильтрационной корки, которое включено в жидкость для образования подушки, первая суспензия включает одно или несколько следующих веществ: реагентов, снижающих фильтрацию, средств разрушения фильтрационной корки, добавок к средствам разрушения фильтрационной корки и смесей данных веществ, при условии, что не включена никакая добавка к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенная для средства разрушения фильтрационной корки, которое включено или было в жидкости для образования подушки, и вторая суспензия включает одно или несколько следующих веществ: средств разрушения фильтрационной корки, добавок к средствам разрушения фильтрационной корки и смесей данных веществ. В другом варианте осуществления и жидкость для образования подушки и первая суспензия, каждая, включают реагент, снижающий фильтрацию, первое средство разрушения фильтрационной корки и добавку к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенную для второго средства разрушения фильтрационной корки, которое является более активным при режиме обработки по сравнению с первым средством разрушения фильтрационной корки и вторая суспензия содержит второе средство разрушения фильтрационной корки. В еще одном варианте осуществления фильтрационная корка включает полимер, подверженный ферментативной и окислительной деструкции при режиме обработки, первое средство разрушения фильтрационной корки имеется в жидкости для образования подушки и включает фермент, который вызывает деструкцию полимера; второе средство разрушения фильтрационной корки имеется во второй суспензии и включает окислитель, который вызывает деструкцию полимера, и добавка ко второму средству разрушения фильтрационной корки, предназначенная для второго средства разрушения фильтрационной корки, имеется в одном или нескольких следующих веществ: в жидкости для образования подушки, первой суспензии и второй суспензии и представляет собой третичный амин. В еще одном варианте осуществления фильтрационная корка включает вещество в виде растворимых в кислоте, твердых частиц, и второе средство разрушения фильтрационной корки имеется во второй суспензии и включает кислоту, способную растворять, по меньшей мере, часть вещества в виде растворимых в кислоте, твердых частиц при режиме обработки. В еще одном варианте осуществления изобретения одно или несколько из следующих веществ: жидкости для образования подушки, первой суспензии и второй суспензии включают материал, способствующий образованию перемычек. В предпочтительном варианте осуществления фильтрационная корка включает полимер, подверженный ферментативной и окислительной деструкции при режиме обработки, первое средство разрушения фильтрационной корки имеется в подушке и включает фермент, который вызывает деструкцию полимера, второе средство разрушения фильтрационной корки имеется во второй суспензии и включает окислитель, который вызывает деструкцию полимера, добавка ко второму средству разрушения фильтрационной корки, предназначенная для второго средства разрушения фильтрационной корки, имеется в одном или нескольких из следующих веществ: жидкости для образования подушки, первой суспензии и второй суспензии и представляет собой третичный амин, и, по меньшей мере, первая суспензия содержит материал, способствующий образованию перемычек.

В других вариантах осуществления изобретения фильтр для предотвращения поступления песка в скважину установлен перед обработкой ствола скважины.

В других вариантах осуществления обработка представляет комбинированную обработку, включающую операции по гидравлическому разрыву пласта/заполнению гравием.

В соответствии с дополнительным вариантом осуществления изобретения предложены способы обеспечения выпадения расклинивающего материала при обработках, при которых в иных случаях было бы трудно, или дорого, или неэффективно, или даже невозможно выполнить это, тем самым оператору предоставляются дополнительные средства управления обработкой.

Краткое описание фигур

Фиг. 1 изображает типовые данные об объеме просачивания жидкости при наличии реагента, снижающего фильтрацию, и без реагента, снижающего фильтрацию.

Фиг. 2 представляет схематичный вид, иллюстрирующий глубину проникновения жидкости, просочившейся в пласт, при использовании реагента, снижающего фильтрацию, и без реагента, снижающего фильтрацию.

Фиг. 3 показывает зависимость объема динамической фильтрации жидкости и вязкости жидкости от времени в экспериментах с двумя различными комбинациями реагента, снижающего фильтрацию, средств разрушения фильтрационной корки и добавки к средству разрушения фильтрационной корки.

Фиг. 4 показывает зависимость объема динамической фильтрации жидкости и вязкости жидкости от времени в эксперименте, в котором добавление реагента, снижающего фильтрацию, прекращают, и отсутствует какое-либо средство разрушения фильтрационной корки или добавка к средству разрушения фильтрационной корки.

Фиг. 5 представляет схематичный вид, иллюстрирующий влияние добавления реагента, снижающего фильтрацию, волокна, средств разрушения фильтрационной корки и добавки к средству разрушения фильтрационной корки на образование трещин.

Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления

Для лучшего понимания преднамеренных выпадений расклинивающего материала в трещине, которому способствует планирование работ при гидравлическом разрыве пластов и комбинированных операциях по гидравлическому разрыву пластов/заполнению гравием, см. работу M. Economides и K. Nolte, eds., *Reservoir Stimulation*, 3rd edition, John Wiley & Sons, Ltd, New York (2000), стр.10-21 до 10-24, и работу F.L. Monus, F.W. Broussard, J.A. Ayoub и W.D. Norman "Fracturing Unconsolidated Sand Formations Offshore Gulf of Mexico", Общество инженеров-нефтяников Американского института горных инженеров, 24844, (1992). Авторами изобретения было установлено, что можно создать ситуацию, при которой суспензия в трещине больше не будет подвижной, путем изменения одной или обеих из двух характеристик суспензии. Твердая фаза может быть изменена путем добавления твердого материала, отличного от расклинивающего агента, так, чтобы суспензия больше не была подвижной, в более низкой концентрации по сравнению с концентрацией, при которой суспензия больше не была бы подвижной без добавления материала, или просачивание жидкости может быть увеличено с тем, чтобы концентрация твердых частиц возросла, или могут быть использованы оба способа. Авторами изобретения были найдены способы вызвать преднамеренные выпадения расклинивающего материала в трещине и регулируемым образом за счет варьирования состава нагнетаемых жидкостей и/или путем добавления таких материалов, способствующих образованию перемычек, как волокна. Один способ является особенно эффективным в тех случаях, когда невозможность обеспечить выпадение расклинивающего материала обусловлена слишком большим размером трещины для определенного объема расклинивающего агента; данный способ заключается в образовании фильтрационной корки и в последующем уменьшении величины фильтрационной корки или увеличении ее проницаемости в соответствующий момент времени. Авторы изобретения используют термин "разрушение фильтрационной корки" в таком смысле, чтобы он охватывал уменьшение величины фильтрационной корки или увеличение ее проницаемости за счет разрушения или растворения, по меньшей мере, части, по меньшей мере, одного из компонентов фильтрационной корки. Это осуществляется, например, путем разламывания или растворения фильтрационной корки во время выполнения работ с помощью одного или нескольких соответствующих реагентов для разрушения или растворителей, которые авторы изобретения называют "средствами разрушения фильтрационной корки", иногда с дополнительной добавкой к реагенту для разрушения или растворителю, которую авторы изобретения называют "добавкой к средству разрушения фильтрационной корки". Можно обеспечить задержку действия реагентов для разрушения или растворителей, например, с помощью средств для обеспечения задержки или путем капсулирования. В том случае, когда трещина слишком большая для определенного объема расклинивающего агента, один или несколько реагентов для разрушения или растворителей могут быть добавлены в течение всего времени выполнения работ или, по меньшей мере, в поддушку и/или на ранних стадиях работ.

Другие способы особенно эффективны, когда невозможность обеспечить выпадение расклинивающего материала обусловлена главным образом тем, что трещина является слишком широкой, что не позволяет расклинивающему агенту образовать перемычки. В одном примере уменьшают эффективность на более поздних стадиях работы путем добавления соответствующего реагента для разрушения, иногда с добавкой к реагенту для разрушения, на более поздних стадиях работы, или путем добавления большего количества реагента для разрушения или лучшего реагента для разрушения на более поздних стадиях

работы. В данном варианте осуществления, возможно, реагент для разрушения не будет использован в подушке или на ранних стадиях введения расклинивающего агента. Эти реагенты для разрушения эффективны, когда стойкость фильтрационной корки к воздействию потока жидкости разрыва обусловлена главным образом полимерами, присутствующими в жидкости или в реагенте, снижающем фильтрацию.

Если стойкость фильтрационной корки к воздействию потока жидкости обусловлена главным образом наличием карбоната кальция или одного или нескольких других растворимых в кислоте материалов в реагенте, снижающем фильтрацию, фильтрационная корка может быть растворена путем добавления кислоты в реагенты, используемые на более поздних стадиях.

Другой способ состоит в добавлении волокон или других материалов (названных "материалами, способствующими образованию перемычек") в расклинивающий агент с тем, чтобы способствовать образованию перемычек, при этом этот способ или используют отдельно, или в сочетании с одним из вышеуказанных способов разрушения или растворения фильтрационной корки. Выпадение расклинивающего материала начинается вместе с образованием перемычек, то есть твердые частицы в трещине перестают двигаться, в то время как жидкости могут продолжать течь; важными параметрами, влияющими на тенденцию образования перемычек в определенном месте в трещине, являются распределение частиц по крупности и по форме, ширина трещины и объемная концентрация расклинивающего агента в суспензии. Добавление материалов, способствующих образованию перемычек, влияет непосредственным образом на образование перемычек, преднамеренное разрушение фильтрационной корки во время обработки влияет на концентрацию расклинивающего агента.

Способы, включающие в себя разрушение или растворение фильтрационной корки и добавление волокон, могут быть реализованы вместе или одновременно, или последовательно. Эти способы также могут быть использованы для преднамеренного образования более широких трещин (которые имеют большую интенсивность притока в трещину). Эти способы также могут быть использованы в качестве средства варьирования, то есть оператор может преднамеренно остановить рост и заполнение одной трещины и инициировать образование новой трещины без изоляции зоны. Способы могут быть использованы для нейтрализации реагента, снижающего фильтрацию, во всей трещине или только в ее части. Оператор может принимать решение и управлять тем, когда и где произойдет выпадение расклинивающего материала (и избегать нежелательных результатов, проявляющихся в том, что не происходит выпадения расклинивающего материала, происходит очень постепенное и неэффективное выпадение расклинивающего материала, или выпадение расклинивающего материала происходит в стволе скважины над пластом), путем ускорения просачивания, возможно, но необязательно, также посредством ускорения образования перемычек.

Идея, лежащая в основе и объединяющая способы, предусматривающие разрушение фильтрационной корки, состоит в том, что фильтрационная корка образуется на стенках трещины рано в процессе обработки, затем нагнетают суспензию расклинивающего агента, а затем в то время, когда продолжается нагнетание суспензии расклинивающего агента, фильтрующая корка химически разрушается с помощью средства разрушения фильтрационной корки, так что просачивание увеличивается, концентрация расклинивающего агента в трещине увеличивается, и происходит выпадение расклинивающего материала. В зависимости от таких факторов, как реакционная способность используемого средства или средств разрушения фильтрационной корки при определенном режиме обработки (например, при определенной температуре и водородном показателе рН жидкости-носителя), толщина осажденной фильтрационной корки (на которую влияют, например, вязкость жидкости-носителя и проницаемость пласта) и другие планируемые характеристики работ, такие как плановая продолжительность работ, размеры трещины и крупность частиц расклинивающего агента, моменты времени добавления различных химикатов будут варьироваться. Например, жидкость для образования подушки необходимо нагнетать достаточно долго, и/или она должна содержать достаточное количество реагента, снижающего фильтрацию, для обеспечения образования необходимой фильтрационной корки. Разрушение фильтрационной корки не должно происходить слишком быстро или начинаться слишком рано, поскольку это может привести к тому, что выпадение расклинивающего материала произойдет раньше, чем желательно. Напротив, разрушение фильтрационной корки не должно происходить слишком медленно или начинаться слишком поздно, поскольку это может привести к тому, что выпадение расклинивающего материала не произойдет или произойдет слишком поздно. Добавление расклинивающего агента обычно осуществляют поэтапно. На каждой стадии суспензию с определенной концентрацией расклинивающего агента нагнетают в течение определенного периода времени. Суспензии, нагнетаемые на последовательных стадиях, обычно имеют последовательно увеличивающиеся концентрации расклинивающего агента. Концентрацию расклинивающего агента также можно плавно увеличивать, то есть увеличивать непрерывно в течение стадий подачи расклинивающего агента. Для того чтобы облегчить понимание описания, типовые работы будут разделены на стадию образования подушки и стадии нагнетания первой и второй суспензий расклинивающего агента. На стадии образования подушки инициируется образование трещины и образуется фильтрационная корка. При нагнетании первой суспензии трещина увеличивается. При нагнетании второй суспензии происходит выпадение расклинивающего материала, и трещина заполняется расклинивающим агентом. Как было указано, некоторые другие характеристики выполнения работ могут сильно

повлиять на моменты времени добавления химикатов. Если подушка должна быть небольшой, образование фильтрационной корки может продолжаться на всех стадиях нагнетания первой суспензии, или на ранних стадиях нагнетания первой суспензии. Если средство разрушения фильтрационной корки является медленно действующим, добавление может начаться даже на стадии образования подушки, а разрушение может начаться на стадии нагнетания первой суспензии. Если средство разрушения фильтрационной корки является очень быстро действующим, добавление может начаться только на стадиях нагнетания второй суспензии. Могут быть использованы средства разрушения фильтрационной корки, имеющие последовательно увеличивающуюся реакционную способность, или средства разрушения фильтрационной корки, которые разрушают различные компоненты фильтрационной корки, могут использоваться одновременно или последовательно. Если средство разрушения фильтрационной корки не обладает достаточной реакционной способностью, может быть добавлена добавка к средству разрушения фильтрационной корки. Эта добавка к средству разрушения фильтрационной корки может быть добавлена перед добавлением или после добавления средства разрушения фильтрационной корки таким образом, что и средство разрушения фильтрационной корки, и добавка к нему будут вводиться только на стадиях нагнетания второй суспензии, или они могут быть добавлены вместе на стадиях нагнетания второй суспензии. Материал, способствующий образованию перемычек, может быть добавлен на любой или на всех стадиях, включая стадию образования подушки и стадии нагнетания первой и второй суспензий. Специалист в области интенсификации притока из подземных пластов может спроектировать такие процессы обработки, которые приведут к образованию трещины, имеющей определенные конечные параметры (такие как размеры и интенсивность притока), многими различными способами, находящимися в пределах объема и существа изобретения, в зависимости от таких факторов, как, например, доступность химикатов и материалов, возможность использования и характеристики оборудования, с помощью которого химикаты и материалы могут быть добавлены, и затраты.

При реализации изобретения предпочтительно сначала анализируют информацию о скважине, пласте, имеющихся текучих средах и признаках успешной интенсификации притока в трещины, и разрабатывают оптимизированный план максимального увеличения отдачи скважины, подвергаемой возбуждению, в соответствии с рассмотренными данными и признаками. Такой план будет включать нагнетание некоторого количества заданной жидкости для образования подушки и некоторого количества заданной жидкости разрыва. Это обычно выполняется путем анализа скважины с использованием программного обеспечения для проектирования и оценки гидравлического разрыва пласта, в котором градиенты давления объединены с алгоритмами определения эволюции длины и глубины трещины, полной информацией о просачивании и воздействии многократных операций нагнетания жидкости и вызванных ими изменениях температуры. Для выполнения гидравлического разрыва пласта или заполнения гравием, или комбинации этих двух процессов в водные жидкости, предназначенные для образования подушек или образования суспензий, в качестве загустителей вводят полимеры (обычно сшитые соединением бора, циркония или титана), или структуры из вязкоупругих поверхностно-активных веществ, которые могут быть образованы путем использования поверхностно-активных веществ, образующих мицеллы соответствующего размера и формы. Любые жидкости разрыва или жидкости для заполнения гравием могут быть использованы в способах по изобретению при условии, что они совместимы с определенными материалами по изобретению (реагентами, снижающими фильтрацию, волокнами, реагентами для разрушения, добавками к реагентам для разрушения) и с пластом, расклинивающим агентом и обеспечивают получение заданных результатов обработки. Таким образом, жидкость может быть на водной основе или на масляной основе, кислотной или щелочной, и может содержать один или несколько полимеров, вязкоупругих поверхностно-активных веществ или желатинизированных масел. Полимеры могут быть сетчатыми. Способы по изобретению могут быть включены в исходный план работ, или работы могут быть спланированы без планирования выпадения расклинивающего материала в трещине, а затем в процессе выполнения работ может быть решено, что желательно обеспечить выпадение расклинивающего материала в трещине, и план работ может быть модифицирован на ходу соответствующим образом. (Следует отметить, что в данном описании авторы изобретения часто любое выпадение расклинивающего материала в трещине называют "выпадением расклинивающего материала в конце трещины", но под этим термином понимается выпадение расклинивающего материала, которое происходит в трещине и обязательно на самом конце трещины, дальше всего удаленном от ствола скважины; что является действительно важным, так это то, что выпадение расклинивающего материала происходит в тот момент и там, когда и где это желательно, и не в стволе скважины.)

Авторы изобретения используют термин "обычный гидравлический разрыв пласта" в данном описании для обозначения гидравлического разрыва пласта, при котором выпадение расклинивающего материала в трещине не является ни желательным, ни планируемым. Авторы изобретения используют термин "выпадение расклинивающего материала в трещине" для обозначения выпадения расклинивающего материала, которое происходит в трещине, а не в стволе скважины, но обязательно в конце трещины, удаленном от ствола скважины. При обычном гидравлическом разрыве пласта избегают режимов работы, которые могли бы вызвать выпадение расклинивающего материала в трещине. Если при обычном гидравлическом разрыве пласта сталкиваются с выпадением расклинивающего материала в трещине, о

котором свидетельствует увеличение давления на выкиде насоса, до того, как будет выполнен весь запланированный объем работ по нагнетанию, некоторые изменения параметров работ могут быть выполнены в процессе работ, например, может быть изменена скорость нагнетания или концентрация расклинивающего агента, чтобы попытаться уменьшить тенденцию, которая приводит к выпадению расклинивающего материала в трещине. Тем не менее, часто обработку прекращают и расценивают ее результаты как неудачные.

Жидкость для образования подушки по изобретению включает жидкость-носитель и полимер-загуститель или вязкоупругое поверхностно-активное вещество. Она может дополнительно содержать другие добавки, обычно используемые в таких жидкостях, при условии, что ни один из компонентов жидкости для образования подушки не оказывает отрицательного воздействия на пласт или на жидкость разрыва. Жидкости, используемые в качестве подушки в настоящем изобретении, как правило, могут содержать такие материалы, как ингибиторы коррозии, вещества, уменьшающие трение, реагенты, предотвращающие набухание глин, ингибиторы образования накипи, бактерициды и т.п.

Жидкость-носитель представляет собой средство для перемещения других компонентов в пласт. Предпочтительно жидкость-носитель представляет собой воду или соляной раствор. Могут быть включены заданные органические или неорганические соли или смеси при условии, что они совместимы со всеми компонентами в подушке, жидкости разрыва, пласте и в пластовых текучих средах. Растворы, содержащие от приблизительно 1 до приблизительно 7 мас.% хлорида калия (KCl) или хлорида аммония, часто используются в качестве базовой жидкости в жидкостях разрыва и жидкостях для образования подушек для стабилизации неустойчивых глин и предотвращения набухания глин. Иногда могут быть использованы другие соляные растворы или морская вода. Органическая катионная соль, такая как, в частности, тетраметиламмоний хлорид, представляет собой эффективную соль, особенно в количестве, соответствующем от приблизительно 0,2 до приблизительно 0,5 мас.%, но возможные количества не ограничены вышеприведенным диапазоном.

Как правило, если полимер используется в качестве загустителя для жидкостей, полимер является растворимым в воде. К широко используемым классам эффективных растворимых в воде полимеров относятся поливиниловые полимеры, полиметакриламиды, простые эфиры целлюлозы, полисахариды, лигносульфонаты и их аммониевые соли, соли щелочных металлов и соли щелочно-земельных металлов. Конкретными примерами типовых растворимых в воде полимеров являются сополимеры акриловой кислоты и акриламида, сополимеры акриловой кислоты и метакриламида, полиакриламиды, частично гидролизованные полиакриламиды, частично гидролизованные полиметакриламиды, поливиниловый спирт, поливинилацетат, полиалкиленоксиды, карбоксилцеллюлоза, карбоксиалкилгидроксиэтилцеллюлоза, гидроксиэтилцеллюлоза, галактоманнаны (например, гуаровая камедь), замещенные галактоманнаны (например, гидроксипропиловая гуаровая камедь, карбоксиметилгидроксипропиловая гуаровая камедь и карбоксиметилгуаровая камедь), гетерополисахариды, полученные ферментацией глюкозы (например, ксантановая камедь), и их аммониевые соли и соли щелочных металлов. К предпочтительным растворимым в воде полимерам относятся гидроксиэтилцеллюлоза, крахмал, склероглюкан, галактоманнаны и замещенные галактоманнаны.

Оптимальная концентрация полимера может быть определена путем выбора желательных характеристик просачивания и измерения просачивания с использованием проб заданных жидкостей и образцов пород пласта или пород, аналогичных породам пласта. Просачивание характеризуется тремя параметрами: "мгновенной фильтрацией" (быстрым просачиванием), которое представляет собой исходное быстрое просачивание жидкости до образования на поверхности трещины барьера в виде фильтрационной корки, и измеряется в галлонах на 100 кв. футов, и двумя коэффициентами, используемыми для измерения последующего просачивания, которое имеет место даже после образования фильтрационной корки и зависит от вязкости и предрасположенности к образованию стенки, а именно: C_w , коэффициентом фильтрации (коэффициентом водоотдачи), определяемым предрасположенностью к образованию стенки, и C_v , коэффициентом фильтрации [поглощения жидкости], определяемым вязкостью. Коэффициент C_w неприменим, когда отсутствует материал, придающий склонность к образованию стенки. Коэффициент C_v неприменим, когда имеется низкое конечное значение C_w . Коэффициенты C_w и C_v измеряются в футах в мин^{1/2}. Предпочтительные значения мгновенной фильтрации, C_w и C_v соответственно составляют от 0 до приблизительно 5, от приблизительно 0,001 до приблизительно 0,05 и от приблизительно 0,001 до приблизительно 0,05; более предпочтительные значения составляют от 0 до приблизительно 2, от приблизительно 0,001 до приблизительно 0,008 и от приблизительно 0,001 до приблизительно 0,008; наиболее предпочтительные значения составляют от 0 до приблизительно 1, от приблизительно 0,001 до приблизительно 0,003 и от приблизительно 0,001 до приблизительно 0,003. Значения этих параметров (и фактические свойства, которые они характеризуют) могут изменяться в значительной степени при условии, что надлежащая фильтрационная корка будет образована в соответствующий момент времени. Методика испытаний для определения этих значений приведена в работе R.C. Navarrete, K.E. Caweizel и V.G. Constien: "Dynamic Fluid Loss in Hydraulic Fracturing Under Realistic Shear Conditions in High-Permeability Rocks", SPE Production and Facilities, стр.138-143 (август 1996).

Может быть использована любая жидкость на основе вязкоупругого поверхностно-активного вещества в подушке и/или после образования подушки при условии, что эта жидкость совместима с пластом, пластовыми текучими средами и любыми добавками. Особенно эффективными жидкостями являются те, которые описаны в патентах США 5 551 516, 5 964 295, 5 979 555, 5 979 557, 6 140 277 и 6 258 859. Также могут быть использованы реагенты для разрушения, предназначенные для вязкоупругих поверхностно-активных веществ.

В способах по изобретению, которые базируются частично или в первую очередь на выполняемом в надлежащее время и в надлежащем месте разрушении или ослаблении фильтрационной корки, жидкости, нагнетаемые на стадиях образования подушки и/или на стадиях подачи расклинивающего агента, предпочтительно также содержат реагент или реагенты, снижающие фильтрацию, с целью образования соответствующей фильтрационной корки. Если они не содержат полимерных материалов, которые могут образовывать соответствующую фильтрационную корку, например, если в жидкость для образования подушки при гидравлическом разрыве пласта и/или в жидкость-носитель в качестве загустителя введено вязкоупругое поверхностно-активное вещество, то жидкости, нагнетаемые на стадиях образования подушки и/или на стадиях подачи расклинивающего агента, должны содержать реагент или реагенты, снижающие фильтрацию, с целью образования соответствующей фильтрационной корки. Неограничивающим примером реагентов, снижающих фильтрацию, являются растворимые в воде полимеры или сетчатые растворимые в воде полимеры. Если в качестве загустителя в жидкость для образования подушки и/или в насыщенные расклинивающим агентом жидкости введен полимер или сетчатый полимер, то реагент, снижающий фильтрацию, может представлять собой такой же или другой полимер или сетчатый полимер. Количество, необходимое для повышения вязкости жидкости-носителя, может быть таким, которое требуется для образования соответствующей фильтрационной корки, или может быть добавлено большее количество. Реагенты, снижающие фильтрацию, также могут представлять собой твердые вещества, такие как асбест, гранулированный крахмал, карбонат кальция (кальцит), слюда в виде макрочастиц, частицы пластика, твердые частицы воска (парафина) или воска-полимера (гранул из смеси воска и полимера, которые растворяются в нефти, деформируются и разрушаются при температуре), твердые частицы маслорастворимых смол, нерастворимые соли, медленно растворимые соли (такие как хлорид натрия, если жидкость-носитель и пластовая вода имеют большую ионную силу) и их смеси. Реагент, снижающий фильтрацию, должен содержать, по меньшей мере, один компонент, который может быть подвергнут деструкции или разложению (например, путем окисления полимера или ферментативной деструкции сетчатого природного полимера) или растворен (например, путем растворения карбоната кальция с помощью кислоты или растворения воска или смолы с помощью растворителя).

Изобретение реализуют на практике путем определения, иногда сначала с помощью эксперимента и обычно в конце посредством компьютерного имитационного и численного моделирования, оптимальных количеств реагента, снижающего фильтрацию, и реагента или реагентов для разрушения (возможно, но необязательно, с добавкой к реагенту для разрушения) или растворителя (такого как кислота) и стадий, на которых они должны быть включены для обеспечения разрушения или растворения фильтрационной корки в заданное время и в заданном месте. Специалист в области возбуждения подземных скважин и пластов может легко сделать это, зная используемые химикаты и режимы (особенно время и температуру). Процесс может быть выполнен, например, путем регулирования химического состава и/или плана работ по нагнетанию или и того, и другого при использовании итерации, обычно путем моделирования, до тех пор, пока не будет определен заданный результат. Авторы изобретения называют материалы, используемые для разрушения или растворения фильтрационных корок и/или реагентов, снижающих фильтрацию, "средствами разрушения фильтрационной корки". В некоторых вариантах осуществления, возможно, реагент, снижающий фильтрацию, не будет добавлен, и фильтрационная корка, возможно, будет образована только с помощью загустителя. В других вариантах осуществления, например, когда в качестве загустителя в жидкость добавлено вязкоупругое поверхностно-активное вещество, фильтрационная корка может быть полностью образована из реагента или реагентов, снижающих фильтрацию. В одном предпочтительном варианте осуществления жидкость для образования подушки и возможно, но необязательно, суспензии, насыщенные расклинивающим агентом и нагнетаемые на первых стадиях, содержат первый реагент для разрушения и добавку к реагенту для разрушения (которая может представлять собой, например, катализатор), предназначенную для второго реагента для разрушения. Суспензии, нагнетаемые на последующих стадиях, содержат второй реагент для разрушения. Реагенты для разрушения и добавки к реагентам для разрушения могут представлять собой твердые вещества или жидкости, и их действие можно задерживать (например, путем капсулирования). Суспензии, нагнетаемые на промежуточных стадиях, могут содержать оба реагента для разрушения или оба реагента для разрушения вместе с добавкой к реагенту для разрушения, предназначенной для второго реагента для разрушения, или только второй реагент для разрушения и предназначенную для него добавку. Таким образом, фильтрационная корка уже будет содержать добавку к реагенту для разрушения, предназначенную для второго реагента для разрушения, когда второй реагент для разрушения контактирует с фильтрационной коркой. Таким образом, жидкости, нагнетаемые на различных стадиях работы (жидкость для образования подушки, суспензии расклинивающего агента, нагнетаемые на ранних стадиях, суспензии расклинивающие-

го агента, нагнетаемые на поздних стадиях), могут содержать различные комбинации реагента, снижающего фильтрацию, различных реагентов для разрушения и добавок к реагентам для разрушения, предназначенных для различных реагентов для разрушения. Добавка к реагенту для разрушения может быть закачана перед закачиванием, вместе с закачиванием или после закачивания реагента для разрушения, для которого она предназначена. Материал, который образует фильтрационную корку, всегда будет присутствовать в жидкости для образования подушки, таким материалом является или загуститель (полимер или сетчатый полимер), или добавленный реагент, снижающий фильтрацию. Реагент для разрушения необязательно должен присутствовать в жидкости для образования подушки, особенно в том случае, если температура является достаточно высокой для того, чтобы произошло, по меньшей мере, некоторое естественное разрушение. Аналогичным образом, реагент, снижающий фильтрацию, необязательно должен быть использован на всех стадиях, предусматривающих нагнетание расклинивающего агента, или на какой-либо из стадий, предусматривающих нагнетание расклинивающего агента, если надлежащая фильтрационная корка уже была образована. Все эти способы противоречат обычной практике, характеризующейся тем, что желательно поддерживать эффективность жидкости на как можно более высоком уровне до тех пор, пока не будут выполнены работы по интенсификации притока.

Если фильтрационная корка подлежит разрушению за счет растворения некоторого компонента (такого как карбонат кальция, но возможные компоненты не ограничены им), это может быть выполнено путем использования кислоты в полимере, сетчатом полимере или в вязкоупругом поверхностно-активном веществе (все эти вещества известны в данной области техники в комбинации с кислотами) на соответствующей стадии или стадиях. Соответствующие кислоты представляют собой любые кислоты, известные в данной области техники как применяемые для растворения карбонатов, такие как минеральные кислоты, подобные хлористо-водородной (соляной) кислоте, фтористо-водородной (плавиковой) кислоте, и смеси двух кислот, при этом возможные минеральные кислоты не ограничены вышеуказанными. Органические кислоты, такие как муравьиная кислота, уксусная кислота, фторборная кислота и лимонная кислота, также могут быть использованы в сочетании с минеральными кислотами или отдельно, при этом возможные органические кислоты не ограничены вышеуказанными. Дополнительные материалы, такие как хелатообразователи, могут быть использованы для повышения степени растворения с помощью кислоты. Неограничивающими примерами являются аминополикарбоновые кислоты, такие как этилендиаминтетрауксусная кислота, диэтилентриаминпентауксусная кислота и их смеси.

Данное использование кислот для растворения фильтрационной корки во время работ по гидравлическому разрыву пласта представляет собой нечто противоположное тому, что обычно делается при обычном гидравлическом разрыве пласта, при котором удаление фильтрационной корки во время выполнения работ нежелательно. Например, существуют известные способы кислотного разрыва, в которых стадии нагнетания жидкости для образования подушки и кислот чередуются. Каждая стадия нагнетания жидкости для образования подушки предусматривает использование реагента, снижающего фильтрацию, или полимера, или эмульсии, которая образует фильтрационную корку, перекрывающую зоны материнской породы, которые уже были вытравлены кислотой (или в которых образованы отверстия, имеющие вид червоточин), и обеспечивающую направление кислоты в ту часть материнской породы, которая ранее не подверглась воздействию кислоты. В таких случаях применения удаление фильтрационной корки с помощью кислоты нежелательно.

Обычно желательно, чтобы фильтрационная корка разрушалась после применения операций по интенсификации притока для уменьшения разрушения наружного слоя поверхности трещины и обеспечения максимального притока текучих сред из материнской породы в трещину и, в конце концов, в ствол скважины. Это разрушение обычно происходит естественным образом, хотя и медленно, за счет термических процессов, или за счет растворения фильтрационной корки в типовых жидкостях суспензий, или за счет физических процессов, в частности, вследствие изменения направления потока на обратное (во время обработки поток проходит из трещины в пласт, а после начала добычи поток проходит из пласта в трещину). Ранее средства разрушения фильтрационной корки не использовались для обеспечения очень быстрого разрушения фильтрационной корки во время выполнения операций по гидравлическому разрыву пласта. Поскольку преднамеренное разрушение фильтрационной корки с помощью способов по изобретению может привести к значительно более быстрому разрушению, оно обеспечивает значительно более быстрое увеличение темпа добычи текучих сред.

Одним используемым в настоящее время способом предотвращения выпадений расклинивающего материала в трещине является планирование работ таким образом, чтобы трещина была слишком широкой, что будет препятствовать образованию перемычек из используемого расклинивающего агента определенной крупности. Напротив, один способ содействовать выпадениям расклинивающего материала в трещине заключается в добавлении материала, который способствует образованию перемычек или ускоряет образование перемычек и препятствует перемещению расклинивающего агента в трещине. Авторами изобретения было установлено, что определенные материалы при добавлении их в суспензию расклинивающего агента в соответствующих концентрациях ускоряют или способствуют образованию перемычек из частиц расклинивающего агента (за счет естественного увеличения силы взаимодействий между частицами) и препятствуют перемещению расклинивающего агента в трещине. Авторы изобре-

ния назвали эти материалы "материалами или средствами, способствующими образованию перемычек". Авторами изобретения было установлено, что выпадение расклинивающего материала в трещине может быть инициировано во время выполнения работ независимо от того, были или не были работы спланированы таким образом, чтобы вызвать выпадение расклинивающего материала в трещине, за счет добавления соответствующего количества материалов, способствующих образованию перемычек, в суспензию расклинивающего агента. Несмотря на то, что данный вариант осуществления изобретения рассматривается, главным образом, с волокнами в качестве примера, в качестве средств, способствующих образованию перемычек, также могут быть использованы другие материалы, такие как иглы, фибриллированные волокна, пластинки, частицы неправильной формы, обрезки и ленты, особенно материалы, состоящие из частиц с отношениями длины к диаметру, превышающими приблизительно три, наиболее предпочтительно - превышающими приблизительно триста, но возможные материалы не ограничены вышеуказанными. Пригоден любой органический или неорганический, природный или синтетический материал, который вызовет уменьшение подвижности суспензии, состоящей из жидкости и расклинивающего агента, при ее обезвоживании. Материалы с отношениями длин частиц к их диаметру, превышающими приблизительно три, предпочтительны, поскольку они придают расклинивающему агенту тенденцию оставаться в уплотненном состоянии с большей проницаемостью. Особенно пригодные, но не ограничивающие волокна и другие материалы описаны в патентах США 5 330 005, 5 439 055, 5 501 275, 5 782 300, которые настоящим включены в данное описание путем ссылки. При одной обработке может быть использовано более одного материала, способствующего образованию перемычек, или последовательно, или одновременно. Материалы, из которых созданы средства, способствующие образованию перемычек, не представляют собой "ключевых параметров" при условии, что средства, вызывающие уменьшение подвижности, не вступают в химические реакции с другими компонентами жидкостей, в которых они используются, являются стабильными в той окружающей среде, в которой они используются, и их и суспензии, содержащие их, можно транспортировать, смешивать и нагнетать путем использования имеющегося оборудования. Нижеприведенное описание базируется главным образом на использовании материалов, способствующих образованию перемычек, как способе ускорения выпадений расклинивающего материала в трещине, но следует понимать, что идеи добавления материалов, способствующих образованию перемычек, и образования/разрушения фильтрационной корки могут быть использованы вместе одновременно или последовательно.

Волокна используются при обычном гидравлическом разрыве пласта для предотвращения обратного потока расклинивающего агента, то есть для удерживания расклинивающего агента в трещине так, чтобы не происходила "добыча" его вместе с текучими средами. Это позволяет обеспечить более интенсивный (имеющий большую скорость) обратный поток жидкости разрыва и добываемого углеводорода без обратного потока расклинивающего агента. Покрытые смолой, расклинивающие агенты были предназначены для того, чтобы служить той же цели, но волокна часто дают лучший результат. Использование волокон таким способом описано в работе М. Economides и К. Nolte, eds., *Reservoir Stimulation*, 3rd edition, John Wiley & Sons, Ltd, New York (2000), стр.11-30 и 11-31, и в патентах США No.No. 5 330 005, 5 439 055, 5 501 275 и 5 782 300.

Параметры, выбираемые при использовании волокон для предотвращения обратного потока расклинивающего агента при обычном гидравлическом разрыве пластов, выбирают в зависимости от того, что должно произойти в трещине после завершения обработки. Волокно добавляют в оптимальной концентрации для борьбы с обратным потоком расклинивающего агента так, чтобы при этом не оказать существенного воздействия на интенсивность притока в трещину. При использовании стекловолокон эта концентрация составляет приблизительно 1 мас.% от массы расклинивающего агента. Эта концентрация недостаточна для того, чтобы вызвать образование перемычек во время нагнетания при условиях, в которых она обычно используется. Действительно, при обычном гидравлическом разрыве пластов концентрацию волокон специально выбирают такой, чтобы она не приводила к увеличению "склонности" к образованию перемычек во время нагнетания. В большинстве обычных ситуаций при гидравлическом разрыве пластов волокно добавляют на последних стадиях обработки, так что расклинивающий агент, расположенный ближе всего к стволу скважины, будет смешиваться с волокнами. Действительно, при выполнении данных обработок с целью предотвращения обратного потока расклинивающего агента наиболее важно обработать зону трещины, находящуюся рядом со стволом скважины. Иногда при обычном гидравлическом разрыве пласта на всех стадиях нагнетания суспензий расклинивающего агента вводят волокно; это может быть сделано в скважинах, в которых обратный поток расклинивающего агента представляет собой наиболее серьезную проблему, или в том случае, когда волокно добавляют в целях уменьшения давления, обусловленного трением. Тем не менее, при данных обработках концентрация волокон изменяется линейно по отношению к концентрации расклинивающего агента. (То есть, если количество расклинивающего агента удваивается, то концентрация волокон удваивается, и т.д.) В типовых планах работ на ранних стадиях нагнетания суспензий расклинивающего агента концентрации расклинивающего агента и волокна довольно низкие; выпадения расклинивающего материала в трещине нежелательны, и, если они происходят, они не вызваны волокнами.

Иногда волокна добавляют в течение всего времени выполнения операций по гидравлическому разрыву пласта по еще одной причине: чтобы способствовать перемещению расклинивающего агента, например, когда вязкость жидкости является необычно низкой. Выпадения расклинивающего материала в трещине при данных операциях избегают за счет тщательной предварительной проработки плана работ, особенно за счет тщательного выбора режимов нагнетания. Например, при выполнении данных операций обработки объем подушки увеличивают по сравнению с обычными планами работ для гарантирования того, что будет создана трещина с достаточной шириной перед введением суспензии расклинивающего агента/волокна в трещину. Кроме того, концентрации волокон тщательно отслеживают при планах работ, проверенных путем имитационного моделирования, что позволяет инженерам получить предупреждение о возможности преждевременных выпадений расклинивающего материала. В завершение, поскольку добавление волокна имеет очень важное значение для перемещения расклинивающего агента на всех стадиях в таких планах работ, все стадии должны предусматривать использование волокна.

Таким образом, использование волокон для борьбы с обратным потоком расклинивающего агента, когда выпадение расклинивающего материала в трещине нежелательно, можно охарактеризовать двумя основными подходами. Во-первых, в обычных планах работ по гидравлическому разрыву пласта количество волокон, необходимых для борьбы с обратным потоком, обычно выбирают достаточно небольшим, чтобы не произошло выпадение расклинивающего материала в трещине. Во-вторых, несмотря на то, что волокна иногда добавляют во время выполнения всех операций обработки, в целях борьбы с обратным потоком их наиболее часто добавляют в конце обработки, как правило, во время выполнения последних 10% объема работ. Это обусловлено тем, что именно физические свойства набивки из расклинивающего агента в зоне, расположенной ближе всего к стволу скважины, требуют особого внимания и должны регулироваться для предотвращения обратного потока расклинивающего агента. Для использования волокон с тем, чтобы способствовать перемещению расклинивающего агента при обычном гидравлическом разрыве пласта, характерно тщательное планирование и мониторинг работ для предотвращения выпадений расклинивающего материала в трещине. В любом случае, когда выпадения расклинивающего материала в трещине нежелательны, их предотвращение обеспечивают наилучшим возможным образом или за счет самого способа использования волокон, или за счет тщательного планирования работ.

С этой точки зрения, когда в нижеприведенном описании ссылаются на "процент волокна", за исключением примера 5, то имеется в виду "выраженная в процентах, массовая доля (мас.%) от массы жидкости в суспензии". Для простоты предположим, что плотность жидкостей, используемых в жидкостях разрыва, составляет приблизительно 8,4 фунта на галлон. Обычное количество загружаемого расклинивающего агента составляет 8 фунтов расклинивающего агента на галлон жидкости в суспензии. Это будет обозначено как 8 фунтов добавленного расклинивающего агента. В данном случае, если волокно было бы добавлено в количестве, соответствующем 1 мас.% от массы жидкости, его количество соответствовало бы 0,5 мас.% от массы всей суспензии. Таким образом, если количество волокна будет выражено в мас.% от массы жидкости, то оно будет отличаться от величины, выраженной в мас.% от массы суспензии, в зависимости от количества расклинивающего агента.

Операции обработки по изобретению могут быть выполнены на месторождении таким же образом, как обычные обработки, с использованием обычного оборудования, химикатов и персонала, но при этом оборудование должно быть модифицировано, чтобы придать ему функциональную возможность добавления волокон, если оно еще не обладает такой функциональной возможностью. Способы добавления волокна описаны в патентах США No. No. 5 501 275 и 5 782 300. Предпочтительными, но неограничивающими способами добавления волокна являются добавление волокна в расклинивающий агент перед смешиванием расклинивающего агента с жидкостью, добавление волокна в жидкость перед смешиванием ее с расклинивающим агентом или добавление суспензии волокон на некоторой стадии перед закачиванием суспензии в скважину. Несмотря на то, что волокно, как правило, добавляют в жидкость приблизительно в то же время, когда добавляют расклинивающий агент, существует возможность предварительного смешивания компонентов перед выполнением работ или смешивания их в скважине.

В предпочтительном способе обработка предназначена для того, чтобы максимально повысить вероятность выпадения расклинивающего материала в трещине даже при отсутствии волокна, и после любых дополнительных изменений исходного плана работ, которые будут сделаны после выполнения операций по небольшому гидравлическому разрыву пласта для дополнительного повышения вероятности выпадения расклинивающего материала в трещине, план работ снова дополнительно изменяют для того, чтобы предусмотреть добавление волокон в больших концентрациях в жидкость. Волокно в большой концентрации добавляют, по меньшей мере, на ранних стадиях нагнетания суспензии расклинивающего агента в процессе обработки, когда концентрация расклинивающего агента составляет от приблизительно 0 до приблизительно 8 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости. Особенно важно гарантировать то, чтобы волокно в высокой концентрации было добавлено на тех стадиях, на которых концентрация расклинивающего агента составляет от приблизительно 0,5 до приблизительно 6 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости. Волокно обычно добавляют в течение всего процесса выполнения работ. Поскольку концентрация волокон и расклинивающего агента увеличивается до значений, превышающих критический уровень, как правило, в дополнение к увеличению

концентрации твердых частиц вследствие просачивания, будет происходить выпадение расклинивающего материала. Поскольку добавление волокон в высоких концентрациях приводит к уменьшению подвижности суспензии расклинивающего агента или даже приводит к получению неподвижной суспензии, его традиционно избегают при обычном гидравлическом разрыве пласта, в настоящем изобретении это добавление является преднамеренным. Если отсутствует необходимость для предотвращения поступления песка в скважину или обратным потоком расклинивающего агента, возможно, не потребуется продолжать добавлять волокна после выпадения расклинивающего материала в трещине.

Обработка необязательно должна быть исходно предназначена для максимального повышения вероятности выпадения расклинивающего материала в трещине даже при отсутствии волокна. Обработка в остальном может выполняться по обычному плану за исключением добавления достаточного количества материала, способствующего образованию перемычек, такого как волокна, для обеспечения выпадения расклинивающего материала. Кроме того, добавление волокна необязательно должно осуществляться на ранних стадиях выполнения работ. В пределах объема изобретения находятся варианты, в которых возрастающие количества волокна (при их увеличении постепенно или ступенчато) добавляют до выпадения расклинивающего материала в трещине, или волокно добавляют позднее в процессе выполнения работ в достаточно высокой концентрации, чтобы вызвать выпадение расклинивающего материала в трещине, или в возрастающих количествах. Также в пределах объема изобретения находятся варианты, в которых предусмотрено увеличение концентрации расклинивающего агента в суспензии и/или увеличение скорости нагнетания в сочетании с добавлением возрастающих количеств волокна или с иницированием добавления волокна после нагнетания суспензии, свободной от волокна. Поскольку более сильная тенденция выпадений расклинивающего материала имеет место в том случае, когда просачивание является сильным, способы по изобретению могут обеспечить больше преимуществ в том случае, когда просачивание является слабым. Тем не менее, изобретение может быть использовано при любых условиях, когда выполняют гидроразрыв пласта, включая сочетание гидравлического разрыва пласта и уплотнения гравием. Например, факторы, которые влияют на просачивание, такие как проницаемость пласта или выбор добавки или добавок, способствующих просачиванию, в случае их использования, могут повлиять на оптимальную концентрацию (или профиль концентраций) необходимых волокон, но не ограничивают способ использованием такой оптимальной концентрации (или профиля концентраций) необходимых волокон.

Комбинированное возбуждение/заполнение гравием с преднамеренным выпадением расклинивающего материала в трещине может быть осуществлено различными способами. К неограничивающим примерам относятся следующие. В первом способе создают трещину с выпадением расклинивающего материала в трещине, затем скважину очищают и выполняют операцию заполнения гравием. Во втором способе фильтр и специальный инструмент устанавливают перед обработкой. Образуют трещину с выпадением расклинивающего материала в трещине и заполняют ее комплектом инструментов так, что закачиваемая жидкость для образования подушки и суспензия проходят в трещину, но не в кольцевое пространство; после этого инструмент устанавливают таким образом, что суспензия поступает в кольцевое пространство. Скорость нагнетания обычно уменьшают для обеспечения заполнения кольцевого пространства. В третьем способе вместо гравия и фильтра используют другую технологию для предотвращения выхода расклинивающего агента или песка из скважины. Примером является добавление волокон в расклинивающий агент или использование покрытых смолой, расклинивающих агентов непосредственно перед концом операции гидравлического разрыва пласта. Волокна и покрытые смолой расклинивающие агенты также могут быть использованы совместно с фильтрами.

Способы и жидкости по изобретению также могут быть использованы в способах возбуждения (интенсификации притока), обычно называемых "гидравлическими разрывами пласта водой", или "гидравлическими разрывами пласта тонкой взвесью". При гидравлических разрывах пласта водой обычно для снижения затрат используют как можно меньше загустителя и расклинивающего агента для создания гидравлического разрыва пласта. Это осуществляется путем использования очень высоких скоростей нагнетания и очень больших суммарных объемов суспензий. Обычно при традиционных гидравлических разрывах пластов водой цель состоит в создании как можно более длинной трещины, но, если оператор захочет остановить увеличение длины и иницировать увеличение ширины, может быть добавлена порция волокон или волокон и расклинивающего агента с более высокой концентрацией.

Волокно или другой материал, способствующий образованию перемычек, может быть добавлен в достаточно высокой концентрации, чтобы вызвать выпадение расклинивающего материала в трещине. Тем не менее, в другом варианте осуществления материалы, способствующие образованию перемычек, необязательно должны быть добавлены в количестве, достаточном для того, чтобы вызвать выпадение расклинивающего материала по настоящему изобретению, когда они используются. Плотности и концентрации каждого из волокон, расклинивающих агентов и жидкостей могут изменяться, так что количество волокна, которое будет достаточно большим для обеспечения выпадения расклинивающего материала в трещине только посредством волокна или совместно со средством разрушения фильтрационной корки, зависит от выбора конкретных волокон, расклинивающих агентов и жидкостей. Нижеприведенное рассмотрение относится к водным жидкостям и предпочтительным волокнам по изобретению, а именно

синтетическим органическим полимерным волокнам, имеющим относительно низкие плотности от приблизительно 1 до приблизительно 1,5 г на куб.см. Тем не менее, также могут быть использованы более плотные волокна, такие как волокна, полученные из неорганических материалов, таких как стекло или керамика, такие волокна будут иметь плотности, превышающие плотности синтетических органических полимерных волокон в 2 или более раз. Количество волокна в суспензии, состоящей из жидкости, волокна и расклинивающего агента, которое необходимо для обеспечения выпадения расклинивающего материала в трещине, при использовании его вместе со средством разрушения фильтрационной корки, в наибольшей степени зависит от отношения объема волокна к объему смеси из волокна и расклинивающего агента. Таким образом, количества волокна, приведенные ниже, необходимо регулировать с учетом плотностей (концентраций) отдельных компонентов, включенных в суспензию. Чем выше плотность волокна, тем больше необходимая весовая концентрация. Кроме того, отношение длины к диаметру волокна, длина волокна и отношение диаметра волокна к диаметру частиц расклинивающего агента влияют на количество волокна, выраженное в мас.% от массы жидкости в суспензии, в суспензии, состоящей из жидкости, волокна и расклинивающего агента, которое необходимо для того, чтобы вызвать выпадение расклинивающего материала в трещине. Более низкая массовая доля волокна, выраженная в мас.% от массы жидкости в суспензии, будет необходима при уменьшении диаметра волокна или увеличении длины волокна или отношения длины волокна к его диаметру. Эти изменения в целях регулирования очевидны для специалистов в данной области техники и могут быть выполнены ими. Особенно пригодные, но неограничивающие волокна и другие материалы описаны в патентах США No.No. 5 330 005, 5 439 055, 5 501 275 и 5 782 300, которые настоящим включены в данное описание путем ссылки.

То, что авторы изобретения называют "волокнами", может представлять собой любой волокнистый материал, такой как натуральные органические волокна, измельченные растительные материалы, синтетические органические волокна, в качестве неограничивающих примеров можно привести, например, полиэфирные, полиарамидные, полиамидные волокна, новолоидные волокна (сополимер фенола и формальдегида) или полимерные волокна из сополимера фенола и альдегида, фибриллированные синтетические органические волокна, стекловолкна, углеродные волокна, керамические волокна, неорганические волокна, металлические нити или их смеси. Волокнистый материал предпочтительно имеет длину волокон, составляющую от приблизительно 2 до приблизительно 30 мм и диаметр от приблизительно 5 до приблизительно 100 мкм, наиболее предпочтительно - длину, составляющую от приблизительно 2 до приблизительно 30 мм и диаметр от приблизительно 10 до приблизительно 100 мкм. Поперечные сечения волокон необязательно должны быть круглыми, и волокна необязательно должны быть прямыми. В случае использования фибриллированных волокон диаметры отдельных элементарных волокон могут быть значительно меньше вышеуказанных диаметров волокон.

Было установлено, что при концентрациях синтетических органических полимерных волокон, составляющих от приблизительно 1 до приблизительно 2 мас.% от массы жидкости, содержащая волокна суспензия ведет себя подобно типовой жидкости разрыва, и для работы с ней можно использовать стандартное оборудование для нагнетания и смешивания, применяемое на нефтяных промыслах. Испытания с такой суспензией были проведены с использованием скважинных инструментов, и было установлено, что она не забивает отверстие. Данное добавление волокна в суспензии расклинивающего агента, нагнетаемые на ранних стадиях, не приведет к существенному усложнению выполнения обработки.

Тем не менее, по мере поступления смеси жидкости разрыва, волокна и расклинивающего агента в пласт, концентрация расклинивающего агента и волокна будет увеличиваться вследствие просачивания жидкости. При более высоких концентрациях волокно значительно повышает "склонность" суспензии к образованию перемычек. Когда концентрация волокна повысится до значений, составляющих от приблизительно 4 до приблизительно 5 мас.%, за счет просачивания, суспензия будет иметь вид влажной мягкой бесформенной массы. Лабораторные и полевые испытания показали, что от приблизительно 4 до приблизительно 5% синтетического органического полимерного волокна в жидкости могут вызвать забивание щели шириной от 6 до 12 мм. Следовательно, при увеличении концентрации волокна и расклинивающего агента в трещине вследствие просачивания жидкости смесь расклинивающего агента и волокна в суспензии обеспечивает большую склонность к образованию перемычек и выпадению расклинивающего материала.

Если при планировании работ использование волокон также рассматривают как средство, способствующее тому, чтобы вызвать выпадение расклинивающего материала в трещине, волокно обычно добавляют, по меньшей мере, на первых стадиях нагнетания суспензий расклинивающего агента, и концентрацию выбирают так, чтобы суспензия волокна/расклинивающего агента уплотнялась (больше не была подвижной) и обеспечивала выпадение расклинивающего материала в трещине, когда разрушение фильтрационной корки дойдет до уровня, при котором эффективность жидкости будет меньше, например, приблизительно 20%. Следует отметить, что количество волокна, необходимое для обеспечения выпадения расклинивающего материала в трещине в некоторых из способов по данному изобретению, может быть меньше количества волокна, обычно используемого при гидравлическом разрыве пласта для предотвращения обратного потока расклинивающего агента, не вызывая выпадения расклинивающего материала в трещине, поскольку в этих способах по данному изобретению выполняются другие опера-

ции для разрушения фильтрационной корки и увеличения концентрации суспензии волокна/расклинивающего агента в трещине. Другими словами, путем преднамеренного увеличения просачивания способствуют образованию перемычек. С другой стороны, количество используемого волокна также может быть больше количества, обычно используемого для предотвращения обратного потока расклинивающего агента.

Количество синтетического органического полимерного волокна предпочтительно регулируют в диапазоне от приблизительно 0,5 до приблизительно 2 мас.% для учета изменений эффективности жидкости. Обычно количество синтетического органического полимерного волокна, соответствующее 0,5 мас.%, не считается большим и не вызывает выпадения расклинивающего материала. Тем не менее, одна цель изобретения состоит в использовании такой концентрации волокна, которая приводит к выпадению расклинивающего материала. В некоторых случаях, например, если степень просачивания жидкости является довольно большой, а эффективность жидкости низкой, то исходную концентрацию волокна можно уменьшить до приблизительно этого количества. В этом случае концентрация может находиться в "обычном" диапазоне для "обычной" обработки, но она будет высокой для рассматриваемой обработки. С другой стороны, если бы эффективность жидкости была бы необычно высокой, то исходную концентрацию волокна следовало бы увеличить до значений, превышающих типовые 2%, чтобы вызвать выпадение расклинивающего материала в трещине. Таким образом, диапазон концентраций синтетического органического полимерного волокна по изобретению охватывает значения от приблизительно 0,5 мас.% от массы жидкости до приблизительно 3 мас.%, предпочтительно от приблизительно 1 до приблизительно 2 мас.%. В данном контексте под "высокой концентрацией" понимается концентрация определенного волокна в определенной комбинации жидкости, волокна и расклинивающего агента, которая является достаточно высокой для существенного повышения вероятности выпадения расклинивающего материала в условиях, присущих данной обработке.

Несмотря на то, что при обычном гидравлическом разрыве пласта количество используемого волокна обычно определяется количеством используемого расклинивающего агента, так что количество волокна изменяется в случае изменения количества расклинивающего агента на разных стадиях, при использовании жидкостей и способов по данному изобретению количество используемого волокна более часто определяется количеством используемой жидкости, и более распространенным вариантом является использование постоянного количества волокна на определенную массу жидкости.

При увеличении жесткости волокна усиливается тенденция к иницированию образования перемычек и выпадению расклинивающего материала. Однако работа [подача, транспортировка и т.п.] с жидкостью будет затруднена при увеличении жесткости. Волокна с меняющейся жесткостью промышленно изготавливаются и имеются на рынке. Кроме того, давление, обусловленное трением во время нагнетания, часто уменьшается благодаря добавлению волокон. Это представляет собой дополнительное преимущество, особенно, при комбинированных операциях по гидравлическому разрыву пласта/заполнению гравием, когда жидкость часто закачивают через небольшие отверстия и по небольшим каналам. Обычный специалист в данной области техники может легко выбрать волокно путем рассмотрения различных преимуществ и недостатков различных волокон с точки зрения стоимости, доступности, необходимой концентрации, простоты манипулирования, воздействия на давление, обусловленное трением, и других факторов.

Несмотря на то, что в описании была сделана ссылка на "выпадения расклинивающего материала в трещине", в пределах объема изобретения находится образование обычной трещины с заданной длиной при использовании обычных параметров обработки и последующее обеспечение выпадения расклинивающего материала за счет того, что начинают добавлять средство разрушения фильтрационной корки и/или добавку к средству разрушения фильтрационной корки с высокой концентрацией и/или увеличивают концентрацию волокна. Волокно также может быть добавлено в жидкость для образования подушки в количествах, сравнимых с количествами, добавляемыми на стадиях нагнетания суспензий, насыщенных расклинивающим агентом. Несмотря на то, что гидравлический разрыв пласта с последующим заполнением гравием наиболее часто выполняют при наличии фильтра, установленного на месте, в пределах объема изобретения находится применение жидкостей и способов обработки, которые выполняются без фильтра. Несмотря на то, что изобретение было описано применительно к добыче углеводородов, в пределах объема изобретения находится использование жидкостей и способов в скважинах, предназначенных для добычи других текучих сред, таких как вода или соляной раствор, и в нагнетательных скважинах, продуктивных скважинах или скважинах для хранения. Несмотря на то, что изобретение было описано применительно к невспененным жидкостям, могут быть использованы вспененные жидкости или жидкости, активированные (например, азотом, диоксидом углерода или их смесями), при этом выполняют регулирование концентрации волокон, обусловленное любыми последующими изменениями свойств жидкости или концентрации расклинивающего агента. Также следует понимать, что жидкости и способы по изобретению могут быть использованы для обеспечения выпадений расклинивающего материала в множестве трещин, в трещинах, образовавшихся естественным путем, или в отверстиях, подобных червоточинам или т.п., созданным за счет обработки кислотой. Любой из способов по изобретению может быть реализован с использованием труб в бухтах.

Дополнительным преимуществом жидкостей и способов по изобретению является то, что они обеспечивают возможность регулирования оператором дополнительных параметров, что они обеспечивают дополнительную гибкость при планировании обработки, которая вызывает выпадение расклинивающего материала. Таким образом, в тех случаях, когда оператор может не захотеть уменьшить объем подушки, замедлить работу насосов, уменьшить количество загружаемого расклинивающего агента или выполнить другие изменения плана, оператор может использовать один из способов по данному изобретению. Таким образом, при реализации изобретения на практике предпочтительно планировать обработку таким образом, чтобы существовала вероятность выпадения расклинивающего материала даже без использования способов по изобретению, и затем дополнительно использовать один из способов по изобретению в плане работ для гарантирования выпадения расклинивающего материала, но в пределах объема изобретения равным образом находится планирование обработки, которая, вероятно, не вызовет выпадения расклинивающего материала без использования одного из способов по изобретению, и последующее добавление к плану работ операций в соответствии с одним из способов по изобретению. Также в пределах объема данного изобретения находится планирование обработки и инициирование нагнетания, которые не предназначены для того, чтобы вызвать выпадение расклинивающего материала, или при использовании которых не ожидают выпадения расклинивающего материала в любой момент в процессе обработки, и при этом далее в процессе выполнения обработки может быть принято решение обеспечить выпадение расклинивающего материала, и, следовательно, в этот момент план работ будет изменен так, чтобы он включал использование одного из способов по изобретению.

Следует указать на то, что несмотря на то, что нежелательно, чтобы выпадение расклинивающего материала происходило в стволе скважины, в кольцевом пространстве между фильтром (перфорированной трубой) (при его/ее наличии) и поверхностью ствола скважины или в перфорациях, желательно, чтобы эти зоны были полностью заполнены в конце работ. Таким образом, желательный результат состоит в выпадении расклинивающего материала в трещине (выпадение расклинивающего материала начинается в трещине) и в последующем заполнении (или "набивке") вышеупомянутых зон расклинивающим агентом/гравием.

Может быть использован любой расклинивающий агент (гравий) при условии, что он совместим с волокном, пластом, жидкостью и обеспечивает получение заданных результатов обработки. Такие расклинивающие материалы (гравии) могут быть природными или синтетическими, покрытыми (например, смолой) или содержать химикаты, несколько расклинивающих материалов могут быть использованы последовательно или в смесях частиц с разными размерами или разных материалов. Под расклинивающим агентом авторы изобретения понимают любой зернистый материал (материал в виде макрочастиц), выбранный для определенной цели, такой как расклинивание трещины с целью удерживания ее открытой или заполнение гравием скважины, законченной бурением, для предотвращения или сведения к минимуму добычи мелких, илистых частиц продуктивной толщи. Расклинивающие агенты и гравий в одной и той же или разных скважинах или при одинаковых или разных операциях обработки могут представлять собой один и тот же материал и/или материалы с одинаковой крупностью. Такие материалы обычно называют расклинивающими агентами при их размещении в трещинах и гравием при их размещении в отверстиях и стволах скважин, но предусмотрено, что термин "расклинивающий агент" в данном рассмотрении охватывает и гравий. Как правило, используемый расклинивающий агент имеет средний размер частиц, соответствующий от приблизительно 10 до приблизительно 100 меш, более точно, материалы имеют крупность частиц 40/60, 20/40, 16/20, 12/20 и 8/20, но материалы не ограничены вышеуказанными. Обычно расклинивающий агент будет присутствовать в суспензии в концентрации от приблизительно 1 фунта добавленного расклинивающего агента до приблизительно 25 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости, предпочтительно - от приблизительно 1 до приблизительно 16 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости.

Могут быть использованы любые добавки, обычно применяемые в жидкостях для образования подушки и в суспензиях, нагнетаемых на стадиях подобных обработок, на которых происходит введение расклинивающего агента, снова при условии, что эти добавки совместимы с другими компонентами и обеспечивают достижение заданных результатов обработки. К таким добавкам могут относиться антиоксиданты, сшивающие агенты, ингибиторы коррозии, средства для обеспечения задержки, бактерициды и буферы, но добавки не ограничены вышеуказанными. Подвергаемые обработке стволы скважин могут быть вертикальными, отклоненными от вертикали или горизонтальными. Они могут быть закончены с обсаживанием трубами и перфорированием или представлять собой скважины, не закрепленные обсадными трубами, и в них могут быть или не быть предусмотрены фильтры.

К примерам реагентов для разрушения, пригодных для использования в способе по настоящему изобретению, относятся ферменты, такие как галактоманназа (для деструкции полисахаридов на основе галактоманна), ферменты, такие как альфа-амилаза для деструкции крахмалов, целлюлаза и гемицеллюлаза для деструкции целлюлозы, и окислители, такие как персульфаты, броматы, иодаты, перманганаты, перкарбонаты, перхлораты, пербораты, гипохлорит, диоксид хлора и хлорат (для деструкции полимеров путем окисления), но возможные реагенты для разрушения не ограничены вышеуказанными. Кроме того, реагенты для разрушения могут быть заключены в капсулы для задержки их выделения, как

хорошо известно в данной области техники. Капсулирование предпочтительно, поскольку большая часть полимеров или все полимеры, подлежащие деструкции, будут присутствовать в фильтрационной корке, и при капсулировании именно там реагент для разрушения будет действовать позднее в процессе выполнения работ. Если реагент для разрушения не будет заключен в капсулы, произойдет утечка, по меньшей мере, некоторой части его, и он не войдет в контакт с полимером в фильтрационной корке, хотя некоторая часть его может проходить в обратном направлении с входом в контакт с полимером при сбросе давления в трещине. Капсулирование также может быть предпочтительным, поскольку может быть выбран такой реагент для разрушения, который вызывает деструкцию как полимера, так и мицелл в вязкоупругом поверхностно-активном веществе в случае использования вязкоупругого поверхностно-активного вещества. Капсулирование также предпочтительно вследствие того, что оно обеспечивает задержку реакции. В разных условиях (особенно при разных температурах) и при разных загустителях эффективны разные реагенты для разрушения, как хорошо известно в данной области техники.

Добавки к реагентам для разрушения (или активаторы для реагентов для разрушения) служат в качестве катализаторов для повышения активности и улучшения эксплуатационных свойств реагентов для разрушения, особенно при более низких температурах в зоне забоя скважины. Примерами являются некоторые третичные амины или смеси некоторых третичных аминов, которые представляют собой добавки к окислительным реагентам для разрушения, подобные описанным в патенте США № 4 560 486.

Следует понимать, что реагенты для разрушения и добавки к реагентам для разрушения также могут быть предусмотрены при планировании работ в целях разрушения загустителя в жидкости-носителе. Эти реагенты для разрушения и добавки к реагентам для разрушения могут быть такими же, как реагенты для разрушения и добавки к реагентам для разрушения, используемые в целях разрушения фильтрационной корки, или могут отличаться от указанных реагентов и добавок. Разрушение загустителя должно происходить после разрушения фильтрационной корки, то есть жидкость-носитель должна обладать способностью перемещения расклинивающего агента до тех пор, пока обработка не будет завершена. Реагенты для разрушения, добавки к реагентам для разрушения и моменты времени добавления и концентрации указанных реагентов и добавок и кислоты или растворителя должны быть выбраны соответствующим образом. Например, медленно действующий реагент для разрушения, который недостаточно активен для разрушения фильтрационной корки во время выполнения работ, но достаточно активен для разрушения загустителя в течение приемлемого времени после прекращения нагнетания, может быть добавлен в любой момент времени в процессе выполнения работ, независимо от добавления средства или средств разрушения фильтрационной корки или добавок. В качестве другого примера можно привести вариант, когда добавку к реагенту для разрушения можно ввести в нагнетаемую жидкость в течение того периода времени, когда происходит образование фильтрационной корки, так что она будет введена в фильтрационную корку; реагент для разрушения загустителя и для разрушения фильтрационной корки добавляются позднее в процессе обработки, и вследствие наличия добавки к реагенту для разрушения в фильтрационной корке фильтрационная корка разрушается быстрее по сравнению с загустителем.

Данное изобретение может быть реализовано на практике при любой температуре пласта, принимая во внимание любое охлаждение, которое может произойти, при которой жидкость для образования подушки и жидкости разрыва и их компоненты, в частности, полимер в подушке и вязкоупругое поверхностно-активное вещество и мицеллы в жидкости разрыва, имеют требуемые свойства, в частности, стабильность.

Пример 1.

Были спланированы работы по гидравлическому разрыву пласта с выпадением расклинивающего материала в трещине, и результаты, которые будут получены, были спрогнозированы с помощью компьютерного моделирования с использованием FracCADE™ (патентованное программное обеспечение фирмы Schlumberger для планирования, прогнозирования и мониторинга гидравлического разрыва пласта при выполнении работ). Работы были спланированы для пласта из песчаника с проницаемостью 200 миллидарси, толщиной 14 футов на глубине 13,715 фута, при статическом давлении на забое 9500 фунтов на кв.дюйм и температуре 118°C. Используемый расклинивающий агент представлял собой керамический материал с размером частиц, соответствующим 20/40 меш. В качестве загустителя в жидкость разрыва была добавлена сшитая бором, гуаровая камедь в 2%-ном растворе KCl в концентрации 30 фунтов на 1000 галлонов. Параметры плана работ приведены в табл. 1. Скорость нагнетания выражена в баррелях в минуту, объем жидкости приведен в галлонах, концентрация расклинивающего агента приведена в фунтах расклинивающего агента на галлон жидкости, а время нагнетания приведено в минутах.

Таблица 1

Номер стадии	Скорость нагнетания	Объем жидкости	Концентрация расклинивающего агента	Время нагнетания
1 (подушка)	15	3500	0	5,5
2	15	1143	0,5	1,9
3	15	107	0,5	0,2
4	15	1201	1,5	2
5	15	1148	2,5	2
6	15	1102	3,5	2
7	15	1102	4,5	2,1
8	15	1002	5,5	2
9	15	1003	7,0	2,1
10	15	950	8,5	2,1
11	15	900	10	2,1
12 (промывка)	15	4669	0	7,4

Программа FracCADE™ использует заранее заданные критерии для определения того, когда произойдет выпадение расклинивающего материала. Для данных работ по гидравлическому разрыву пласта было проведено два прогона моделирующей программы. Первый прогон был выполнен для обычного выпадения расклинивающего материала в трещине при гидравлическом разрыве пласта без добавления волокна. Для данного плана работ программа FracCADE™ выдает прогноз, что выпадение расклинивающего материала произойдет в том случае, когда расклинивающий агент "попытается" войти в трещину, размер которой меньше, чем увеличенный в 2,5 раза диаметр частиц расклинивающего агента, или в том случае, когда концентрация составляет 22 фунта добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости, то есть в любом из двух случаев, который будет иметь место раньше. При втором прогоне моделировалась ситуация, когда синтетическое органическое полимерное волокно добавлено в суспензии расклинивающего агента, нагнетаемые на каждой стадии, в концентрации 0,6 объемного процента от объема жидкости в суспензии. При наличии волокна программа FracCADE™ выдает прогноз, что выпадение расклинивающего материала произойдет в том случае, когда расклинивающий агент "попытается" войти в трещину, размер которой меньше, чем увеличенный в 3,5 раза диаметр частиц расклинивающего агента, или в том случае, когда концентрация составляет 18 фунта добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости, то есть в любом из двух случаев, который будет иметь место раньше. Эта концентрация волокна представляет собой сравнительно низкую концентрацию, так что данные модельные эксперименты проводились при особо жестких условиях. Результаты показаны в нижеприведенной табл. 2.

Таблица 2

Параметр работ	Без волокна	С волокном
Половина длины расклинной трещины (в футах)	101,1	77,1
Ширина расклинной трещины у ствола скважины (в дюймах)	0,348	0,497
Средняя ширина расклинной трещины (в дюймах)	0,235	0,375
Результирующее давление в конце работ (в фунтах на кв.дюйм)	649	1033
Эффективность	0,509	0,533
Эффективная интенсивность притока (миллидарси-фут)	1256	1947

Можно видеть, что добавление волокна привело к образованию более короткой, более широкой трещины с большей интенсивностью притока. Эффективность жидкости, отражающая количество расклинивающего агента, размещенного путем использования заданного количества жидкости-носителя, была выше при использовании волокна. Без волокна заполнение расклинивающим агентом происходило при 99 футах после нагнетания 15 баррелей на стадии 6. При наличии волокна заполнение расклинивающим агентом происходило при 76 футах после нагнетания 22 баррелей на стадии 4.

Пример 2.

Керны диаметром 1,5 дюйма были насыщены испытываемым соляным раствором 2 галлона 50-процентного раствора тетраметиламмоний хлорида на тысячу галлонов жидкости перед испытаниями на динамическую фильтрацию. Устройство для проведения испытаний на динамическую фильтрацию состоит из кернодержателя, выполненного таким образом, что жидкости могут протекать по одной торцевой поверхности керна (передний конец) таким образом, что некоторая часть жидкости будет просачиваться в керн, и жидкости могут быть поданы под давлением в другой конец (задний конец) керна для измерения проницаемости керна; управление системой осуществляется автоматически по программе. Соляной раствор был введен под давлением в задний конец керна для определения исходной проницаемости. Динамическая фильтрация выполнялась за счет протекания жидкости с шитой боратом, гуаровой камедью (при концентрации 20 фунтов гуаровой камеди на 1000 галлонов жидкости разрыва) по торцевой поверхности керна в течение 30 мин при перепаде давлений, составляющем приблизительно 500

фунтов на кв.дюйм. (Это приводит к проходу некоторого количества жидкости в керн и образованию фильтрационной корки на торцевой поверхности керна, если в жидкости имеется вещество для образования фильтрационной корки.) Автоматический имитатор гидравлического разрыва пласта обеспечивал регулирование скорости нагнетания для имитации скорости сдвига во время реальной обработки. Параметры обработки при гидравлическом разрыве пласта, которые должны быть смоделированы с помощью экспериментов по динамической фильтрации, приведены в табл. 3. После динамического просачивания вновь достигнутой проницаемость определяли путем повторного введения того же самого соляного раствора под давлением в задний конец керна.

Таблица 3

Параметр	Величина в процессе выполнения работ
Скорость нагнетания	15 баррелей в минуту
Время нагнетания	30 мин
Показатель степени в степенной зависимости (n')	0,7
Высота (глубина) трещины	65 футов
Длина трещины	75 футов
Ширина трещины (у ствола скважины)	0,75 дюйма
Расстояние от ствола скважины	1 фут

Эксперименты проводились при 52°C. В табл. 4 приведены сравнительные результаты лабораторных испытаний на динамическое просачивание при моделировании разрывов с использованием и без использования реагента, снижающего фильтрацию (концентрация реагента, снижающего фильтрацию, составляла 30 фунтов реагента, снижающего фильтрацию, на 1000 галлонов жидкости разрыва); данный реагент, снижающий фильтрацию, представляет собой смесь крахмала и пластинок. Данные иллюстрируют влияние реагента, снижающего фильтрацию, на проницаемость, просачивание и глубину проникновения просочившейся жидкости в породу. Данные показывают, что фильтрация, как мгновенная фильтрация (количество жидкости, просочившейся до образования фильтрационной корки), так и просачивание после образования фильтрационной корки были значительно меньшими, конечная проницаемость была значительно большей, и значения глубины проникновения жидкости в материнскую породу были значительно меньше в случае использования реагента, снижающего фильтрацию. Эти результаты показывают, как хороший реагент, снижающий фильтрацию, предотвращает выпадение расклинивающего материала или обеспечивает задержку выпадения расклинивающего материала. Результаты испытаний 2 и 4 показаны графически на фиг. 1. Такие данные используются при планировании реализации способов по изобретению. Фиг. 2 (выполненная не в масштабе) схематично показывает, как наличие или отсутствие фильтрационной корки влияет на ту степень, в которой жидкость просачивается из трещины в материнскую породу. На фиг. 2 показано, что фильтрационная корка 1 образована реагентом, снижающим фильтрацию, на верхнем схематичном рисунке, но не на нижнем, который иллюстрирует случай, когда реагент, снижающий фильтрацию, не был использован или был удален. Следовательно, при отсутствии фильтрационной корки будет больше жидкости 2, просочившейся из расклиненной трещины 3.

Таблица 4

Прогон	Исходная проницаемость, миллидарси	Конечная проницаемость, миллидарси	Мгновенная фильтрация, галлон/100 кв.футов	Просачивание после мгновенной фильтрации, галлон/100 кв.футов	Глубина проникновения, дюйм
			Без реагента, снижающего фильтрацию		
1	98	38	146	72	25
2	80	10	123	58	21
			С реагентом, снижающим фильтрацию		
3	80	47	46	19	8
4	75	35	60	17	10

Пример 3.

На фиг. 3 показаны результаты лабораторных экспериментов, иллюстрирующие способ по изобретению, предусматривающий использование двух групп стадий использования средства разрушения реагента, снижающего фильтрацию (средства разрушения фильтрационной корки). Эти эксперименты представляют собой испытания на динамическую фильтрацию, проводимые при 52°C с помощью такого же способа, что и в примере 1. Можно видеть, что в первом испытательном прогоне, когда первая половина времени эксперимента предусматривала использование реагента, снижающего фильтрацию, и первого реагента для разрушения и добавки к реагенту для разрушения (добавки к средству разрушения фильтрационной корки), предназначенной для второго реагента для разрушения, введение которого обеспечивалось во второй половине времени эксперимента, и во второй половине по-прежнему использовался реагент, снижающий фильтрацию, на второй половине стадий не было увеличения фильтрации (водоотдачи). Во втором испытании, когда первая половина была аналогична первой половине в первом испытании.

нии, но вторая половина не предусматривала использования никакого реагента, снижающего фильтрацию, имело место резкое увеличение объема жидкости, просочившейся в течение второй половины, которое указывает на то, что фильтрационная корка была сильно разрушена. В трещине это приводило бы к образованию перемычек и/или снижению эффективности жидкости и выпадению расклинивающего материала в трещине. Для того чтобы удостовериться в том, что результат был получен не только за счет исключения реагента, снижающего фильтрацию, во второй половине испытания 2 было проведено другое лабораторное испытание (см. фиг. 4), в котором ни на какой стадии не использовался никакой реагент для разрушения или добавка к реагенту для разрушения, но на первой стадии использовался реагент, снижающий фильтрацию, а на второй стадии этот реагент не использовался. На фиг. 4 показано, что в этом случае имело место небольшое увеличение потока на второй стадии, но оно было очень незначительным по сравнению с результатами, полученными при испытаниях, которые приведены на фиг. 3. Это делает очевидным то, что основным фактором было использование реагентов для разрушения и особенно использование на первой стадии добавки к реагенту для разрушения, предназначенной для реагента для разрушения, вводимого на второй стадии, и что исключение реагента, снижающего фильтрацию, на второй стадии не имеет особого значения. Первая стадия данных экспериментов характеризует или стадию образования подушки, или стадию образования подушки плюс ранние стадии введения суспензий расклинивающего агента при промышленно используемой обработке для интенсификации притока; вторая стадия этих экспериментов характеризует поздние стадии введения суспензий расклинивающего агента при промышленно используемой обработке для интенсификации притока.

Пример 4.

На фиг. 5 показано влияние добавления волокна на ускорение образования перемычек в дополнение к добавлению реагента, снижающего фильтрацию, и реагентов для разрушения. Фигура показывает конкретный вариант осуществления, в котором фильтрационная корка с введенным в нее реагентом для разрушения образуется с помощью подушки, затем волокна добавляют в суспензию, нагнетаемую на стадии введения расклинивающего агента, для ускорения образования перемычек, и затем другой реагент для разрушения добавляют в суспензии, нагнетаемые на более поздних стадиях введения расклинивающего агента. (На фиг. 5 сверху вниз показаны схемы А-Е, иллюстрирующие "содержимое" трещины по мере выполнения работ по интенсификации притока; эти схемы могут представлять собой или виды сверху, или виды сбоку, и они выполнены не в масштабе, и трещины необязательно имеют один и тот же размер на последовательных схемах.) Эта последовательность операций обеспечивает прекращение роста трещины и последующее удаление фильтрационной корки, что в конечном счете приводит к увеличению скорости притока в трещину добываемой текучей среды, подлежащего добыче. Загуститель в подушке, первое средство разрушения фильтрационной корки, добавка к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенная для второго средства разрушения фильтрационной корки, и реагент, снижающий фильтрацию, такие же, как в первой половине испытания 2 на фиг. 2; загуститель в жидкости-носителе такой же, как в подушке, и второе средство разрушения фильтрационной корки такое же, как соответствующее средство во второй половине испытания 2 на фиг. 2. На фиг. 5 выражение "2-4 фунта добавленного расклинивающего агента" обозначает стадии, на которых концентрация расклинивающего агента составляет от 2 до 4 фунтов добавленного расклинивающего агента на фунт жидкости, а выражение "4 фунта добавленного расклинивающего агента и выше" обозначает стадии, начиная со стадии, соответствующей 4 фунтам добавленного расклинивающего агента, до последней стадии, предусматривающей введение суспензии расклинивающего агента, а также стадию промывки.

Подушка, в которую введен загуститель, содержит первое средство разрушения фильтрационной корки, добавку к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенную для второго средства разрушения фильтрационной корки, и реагент, снижающий фильтрацию. Когда жидкость для образования подушки нагнетают (схема А), и она оказывается у переднего края растущей трещины 4, образуется фильтрационная корка 5 для борьбы с фильтрацией (потерями жидкости), и некоторая часть жидкости просачивается 6 в породу пласта. Достаточное количество жидкости для образования подушки должно быть закачено, чтобы образовалась фильтрационная корка. На стадиях нагнетания суспензий с концентрацией 2-4 фунта добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости (схема В) жидкость-носитель содержит синтетическое органическое полимерное волокно 1, добавляемое на каждой стадии введения расклинивающего агента 8 в концентрации, соответствующей приблизительно 0,6 объемного процента от объема жидкости в суспензии, которое обеспечивает прекращение увеличения длины трещины. На последующих стадиях (схема С) вводят второе средство разрушения фильтрационной корки, и оно начинает разрушать фильтрационную корку, чему способствует добавка к средству разрушения фильтрационной корки (которая уже имеется), предназначенная для второго средства разрушения фильтрационной корки. Во время нагнетания суспензий, насыщенных расклинивающим агентом, на поздних стадиях (схема D) второе средство разрушения фильтрационной корки разрушает фильтрационную корку, вызывая постоянно увеличивающееся просачивание. В конечном результате (схема Е) получают сравнительно короткую широкую трещину, в которой произошло выпадение расклинивающего материала тогда и там, когда и где желательно, которая имеет небольшую фильтрационную корку или не имеет никакой фильтрационной корки и хорошо заполнена расклинивающим агентом. В пределах объе-

ма изобретения находятся многие варианты данной схемы, например, обусловленные тем, что можно варьировать моменты времени добавления и количество добавляемого реагента, снижающего фильтрацию, первого средства разрушения фильтрационной корки, добавки к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенной для второго средства разрушения фильтрационной корки, второго средства разрушения фильтрационной корки и волокна, но возможные варианты не ограничены указанным варьированием. Другие варианты могут предусматривать добавление вышеуказанных материалов в различном порядке или в различных комбинациях.

Пример 5.

Три сценария гидравлического разрыва пласта были смоделированы с использованием FracCADE™ (патентованное программное обеспечение фирмы Schlumberger для планирования, прогнозирования и мониторинга гидравлического разрыва пласта при выполнении работ). В этих сценариях были использованы тот же реагент, снижающий фильтрацию, и, в случае их наличия, те же первое средство разрушения фильтрационной корки, добавка к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенная для второго средства разрушения фильтрационной корки, второе средство разрушения фильтрационной корки и волокно, что и в примере 3. Добавление реагента, снижающего фильтрацию, было предусмотрено во всех трех сценариях с интенсивностью, предназначенной для образования фильтрационной корки с поверхностной плотностью, составляющей 2 фунта реагента, снижающего фильтрацию, на сто квадратных футов поверхности трещины. Параметры плана работ приведены в таблице 5. Скорость нагнетания постоянно составляла 15 баррелей в минуту; в жидкость для образования подушки и в суспензии, нагнетаемые на стадиях введения расклинивающего агента, в качестве загустителя была добавлена сшитая бором, гуаровая камедь в концентрации 20 фунтов на тысячу галлонов морской воды; промывочная жидкость содержала такую же гуаровую камедь в той же концентрации в морской воде, но не сшитую.

Таблица 5

Стадия	Объем жидкости в галлонах	Масса расклинивающего агента в фунтах	Объем суспензии в фунтах	Продолжительность нагнетания в минутах
Подушка	5500	0	131	8,7
0,5 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости	1000	500	24,3	1,6
1,0 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости	1000	1000	24,9	1,7
2,0 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости	1000	2000	26,0	1,7
4,0 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости	1000	4000	28,1	1,9
6,0 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости	1000	6000	30,3	2,0
8,0 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости	1000	8000	32,4	2,2
10,0 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости	1500	15000	51,9	3,5
12,0 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости	3000	36000	110,2	7,3
Промывка	3286	0	78,2	5,2

В сценариях 1 и 2 не было предусмотрено никакого использования средств разрушения фильтрационной корки или добавок к средствам разрушения фильтрационной корки. В сценарии 2 было предусмотрено добавление волокна на стадиях, соответствующих 2-4 фунтам добавленного расклинивающего агента, в концентрации, соответствующей 0,8 мас.% от массы расклинивающего агента. В сценарии 3 подушка содержала первое средство разрушения фильтрационной корки и добавку к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенную для второго средства разрушения фильтрационной корки, а суспензии, нагнетаемые на стадиях с концентрациями расклинивающего агента, начиная с 2 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости, содержали второе средство разрушения фильтрационной корки. Результаты трех имитационных экспериментов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Сценарий	1	2	3
Присутствует ли реагент, снижающий фильтрацию, в подушке?	Да	Да	Да
Используются ли средства разрушения фильтрационной корки и добавка?	Нет	Нет	Да
Мгновенная фильтрация жидкости для образования подушки (галлон/100 кв. футов)	0	0	46
Используется ли волокно на стадиях, на которых нагнетаются суспензии с концентрацией расклинивающего агента от 2 до 4 фунтов добавленного расклинивающего агента на галлон жидкости?	Нет	Да	Нет
Мгновенная фильтрация на стадиях нагнетания суспензий расклинивающего агента (галлон/100 кв. футов)	0	0	99
Половина конечной длины расклиненной трещины	55,3	45,4	36,9
Конечная ширина расклиненной трещины у ствола скважины	1,298	1,729	3,052

Следует отметить, что в плане работ было задано достаточное время нагнетания, чтобы гарантировать образование фильтрационной корки. Были использованы количества жидкости для образования подушки, жидкости разрыва, загустителя для жидкости разрыва, реагента для разрушения (средства разрушения фильтрационной корки), добавки к реагенту для разрушения (добавки к средству разрушения фильтрационной корки), реагента, снижающего фильтрацию, и расклинивающего агента, которые обычно используются при промышленно применяемых обработках. Из сценария 1 можно видеть, что в том случае, когда используют реагент, снижающий фильтрацию, но не используют никакого средства разрушения фильтрационной корки, была получена длинная узкая трещина. При добавлении волокна для способствования выпадению расклинивающего материала в трещине, в сценарии 2 была образована более короткая, более широкая трещина. В том случае, когда было использовано разрушение фильтрационной корки с тем, чтобы способствовать выпадению расклинивающего материала в трещине, была создана самая короткая, самая широкая трещина. Хороший план работ представляет собой комбинацию сценариев 2 и 3.

Предшествующее описание конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения не предназначено для того, чтобы охватывать полный перечень всех возможных вариантов осуществления изобретения. Для специалистов в данной области очевидно, что могут быть выполнены модификации определенных вариантов осуществления, описанных здесь, которые будут находиться в пределах объема настоящего изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обеспечения выпадения расклинивающего материала при обработке с целью интенсификации притока текучих сред из подземного пласта, включающий нагнетание суспензии расклинивающего агента в жидкости-носителе под давлением, превышающим давление гидравлического разрыва пласта и добавление материала, способствующего образованию перемычек, в суспензию.

2. Способ обеспечения выпадения расклинивающего материала при обработке с целью интенсификации притока текучих сред из подземного пласта, включающий нагнетание суспензии расклинивающего агента в жидкости-носителе под давлением, превышающим давление гидравлического разрыва пласта, для создания одной или нескольких трещин, и содержащий следующие операции:

- а) нагнетания жидкости для образования подушки, которая образует фильтрационную корку;
- б) нагнетание первой суспензии, содержащей расклинивающий агент в жидкости-носителе;
- в) разрушение фильтрационной корки с помощью средства разрушения фильтрационной корки при одновременном нагнетании второй суспензии, содержащей расклинивающий агент в жидкости-носителе.

3. Способ по п.2, в котором фильтрационная корка образуется из одного или нескольких следующих материалов: растворимых в воде полимеров, сетчатых растворимых в воде полимеров, реагентов, снижающих фильтрацию, и их смесей.

4. Способ по п.2 или 3, в котором средство разрушения фильтрационной корки выбирают из группы, состоящей из окислителей, ферментов, кислот и их смесей.

5. Способ по любому из пп.2-4, в котором жидкость для образования подушки содержит элемент из группы, состоящей из реагентов, снижающих фильтрацию, средств разрушения фильтрационной корки, добавок к средствам разрушения фильтрационной корки и их смесей, при условии, что не включена ни одна добавка к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенная для средства разрушения фильтрационной корки, которое включено в жидкость для образования подушки, и первая суспензия содержит элемент из группы, состоящей из реагентов, снижающих фильтрацию, средств разрушения фильтрационной корки, добавок к средствам разрушения фильтрационной корки и их смесей, при условии, что не включена ни одна добавка к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенная для средства разрушения фильтрационной корки, которое включено или было в жидкости для образова-

ния подушки, и вторая суспензия содержит элемент из группы, состоящей из средств разрушения фильтрационной корки, добавок к средствам разрушения фильтрационной корки и их смесей.

6. Способ по любому из пп.2-5, в котором жидкость для образования подушки и первая суспензия, каждая, содержит реагент, снижающий фильтрацию, первое средство разрушения фильтрационной корки и добавку к средству разрушения фильтрационной корки, предназначенную для второго средства разрушения фильтрационной корки, которое является более активным при режиме обработки по сравнению с первым средством разрушения фильтрационной корки, и вторая суспензия содержит второе средство разрушения фильтрационной корки.

7. Способ по любому из пп.2-6, в котором фильтрационная корка содержит полимер, подверженный ферментативной и окислительной деструкции при режиме обработки, первое средство разрушения фильтрационной корки имеется в жидкости для образования подушки и включает фермент, который вызывает деструкцию полимера, второе средство разрушения фильтрационной корки имеется во второй суспензии и включает окислитель, который вызывает деструкцию полимера, и добавка ко второму средству разрушения фильтрационной корки, предназначенная для второго средства разрушения фильтрационной корки, имеется в жидкости для образования подушки, в первой суспензии и во второй суспензии и содержит третичный амин.

8. Способ по любому из пп.2-7, в котором фильтрационная корка включает вещество в виде растворимых в кислоте твердых частиц, и второе средство разрушения фильтрационной корки имеется во второй суспензии и включает кислоту, способную растворять, по меньшей мере, часть вещества в виде растворимых в кислоте твердых частиц при режиме обработки.

9. Способ по любому из пп.2-8, в котором одно или несколько из следующих веществ: жидкости для образования подушки, первая суспензия и вторая суспензия включают материал, способствующий образованию перемычек.

10. Способ по любому из пп.1-9, в котором обработку ствола скважины выбирают из группы, состоящей из гидравлического разрыва пласта, гидравлического разрыва пласта с последующим заполнением гравием и совместного гидравлического разрыва пласта и заполнения гравием.

11. Способ по любому из пп.1-10, в котором фильтр для предотвращения поступления песка в скважину установлен перед обработкой ствола скважины.

12. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором жидкий компонент суспензии выбирают из группы, состоящей из эмульсий, вспененных материалов и активированных жидкостей.



